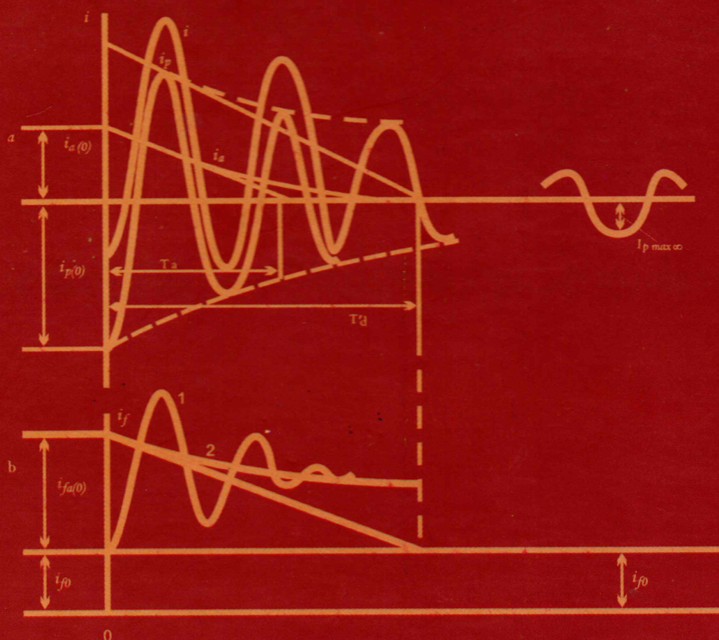
NURƏLİ YUSİFBƏYLİ

ELEKTRİK SİSTEMLƏRİNDƏ KEÇİD PROSESLƏRİ



Azərbaycan Respublikası Təhsil Nazirliyi

AZƏRBAYCAN TEXNİKİ UNİVERSİTETİ

YUSİFBƏYLİ N.A.

ELEKTRİK SİSTEMLƏRİNDƏ KEÇİD PROSESLƏRİ

Azərbaycan Respublikası Təhsil Nazirliyi
tərəfindən bakalavr, magistr və ali təhsilli mütəxəssislərin
"Elektroenergetika" istiqaməti üzrə dərslik kimi təsdiqlənmişdir

BAKI – 2008

UDK 621.311.018.782.3 (075.8)

Rəyçilər : T.e.d., akademik. A.M. Haşımov
T.e.d., professor. As.M. Hüseynov
Azərbaycan Texniki Universitetinin
Elektrik təchizatı və izolyasiya kafedrası

Yusifbəyli N.A. Elektrik Sistemlərində Keçid Prosesləri:
Dərslik. – Bakı: Az. TU; "Maarif" nəşriyyatı", 2008. – 303 səh.

Dərslikdə elektrik sistemlərində elektromaqnit və elektromexaniki keçid proseslərinin gedişinin fiziki əsaslarına baxılmışdır. Elektrik sistemlərində qısaqapanma cərəyanlarının və keçid proseslərinin analizi metodları verilmiş və müvafiq nümunələr təqdim olunmuşdur.

Kitab Dövlət tərəfindən ali professional təhsil sisteminə qoyulan standartlara uyğundur və "Elektroenergetika", "Elektrik sistemləri və şəbəkələri", "Elektrik təchizatı", "Elektroenergetika sistemlərinin rele mühafizəsi və avtomatlaşdırılması" istiqamətlərində təhsil alan bakalavr, magistr və həmçinin ali təhsilli mütəxəssislər və aspirantlar üçün tövsiyə olunur.

Dərslik həmçinin elektroenergetika sisteminin əməkdaşları üçün də faydalı ola bilər.

UDK 621.311.018.782.3 (075.8)

Kitabı, müəllifin də daxil olduğu minlərələ Azərbaycanlı gənclərinin köhnə Sovetlər Birliyinin aparıcı elm mərkəzlərində təhsil almalarında müstəsna rol oynamış xalqımızın ümümmilli Lideri, böyük siyasət korifeyi Heydər Əlirza oğlu Əliyev cənablarının əziz xatirəsinə ithaf edirəm

MÜƏLLİF

ÖN SÖZ

Hazırki dərslik "Elektrik sistemlərində keçid prosesləri" kursunun məzmununu özündə əks etdirir. Dərs vəsaitində həm elektromaqnit, həm də elektromexaniki keçid proseslərinə baxılmışdır. Keçid proseslərinin ətraflı öyrənilməsi üçün əsaslar yaratmaq və bu proseslər haqqında tələbələrdə tamamlanmış fikir formalaşdırmaq üçün müəllif tərəfindən keçid prosesləri nəzəriyyəsinin əsas suallarının yığcam ifadə olunmasına cəhd olunmuşdur.

Kitabı yazarkən müəllif elektromaqnit və elektromexanik keçid proseslərinə aid Vaqner K.F., Evans R.D., Oberdorfor B., Jdanov P.S.,A.A.Qorev, R.Park, Lebedov S.A., Benikov V.A., Ulyanov S.A., F.Anderson, P.Kunder, F.H.Həmzəyev, Jukov L.A., Kulikov Y.A kimi alimlər tətəfindən yazılmış fundamental dərslik və vəsaitlərdən, həmçinin Kiyev Politexnik İnstitutunun (İndiki Kiyev Texniki Akademiyası) Elektroenergetika fakültəsində oxuduğu müddətdə (1980-1986) dinlədiyi mühazirə materiallarından istifadə etmişdir.

Dərslik iki hissədən ibarətdir. Birinci hissədə elektromaqnit keçid proseslərinə baxılmış, ümumi anlayışlar və təriflər verilmiş, qısaqapanmaların yaranma səbəbləri və onların yaratdığı fəsadlar izah olunmuşdur. Həmçinin, qısaqapanma şərtlərinə görə elektrik qurğuları və cihazlarının yoxlanması və seçilməsi məqsədilə mühəndislərə lazım olan parametrlərin hesablanması üçün zəruri olan hesabat metodlarına və fənlərinə baxılmışdır. Hesabat sxemlərinin hazırlanması və onların parametrlərinin hesablanması, zərbə cərəyanının, qeyri-simmetrik qısaqapanma cərəyanlarının, yerlə sadə qapanma cərəyanlarının hesablanması da birinci fəsildə öz əksini tapmışdır. Birinci hissə verilən

materialların həm elektromaqnit, həm də elektromexaniki keçid proseslərinin ümumi təsvirini verdiyi üçün, xüsusi əhəmiyyətə malikdir. Sözü gedən hissədə həmçinin, məzmunca uzun xətlərdə keçid proseslərinə yer verildiyinə görə, onun magistrlər, aspirantlar və paylanmış parametrli elektrik sistemlərində keçid prosesləri ilə məşğul olan mütəxəssislər üçün faydalı hesab etmək olar.

Dərsliyin ikinci hissəsi elektrik sistemlərində statik və dinamik dayanıqlığın və asinxron rejimlərin, dayanıqlığın əsas analiz metodlarının baxılmasına həsr olunmuş və eyni zamanda statik və dinamik dayanıqlığın yaxşılaşdırılması istiqamətində təklif və tədbirlər verilmişdir.

Müəllif kitabın hazırlanmasında və nəşrində göstərdikləri dəstəyə görə, “Azərenerji” ASC-nin kollektivinə və cəmiyyətin Prezidenti E.S.Pirverdiyevə, Texniki Universitetin rektoru professor, t.e.d. H. Məmmədova, həmçinin verdikləri qiymətli rəylərə görə Akademik, t.e.d., Azərbaycan Respublikasının əməkdar elm xadimi, Dövlət mükafatı laureatı A.M.Haşımova, professor, t.e.d. As.H. Hüseynova və dərsliyin texniki redaktoru t.e.n. F.İ. Xıdırova dərin minnətdarlığını bildirir.

Müəllif kitabın məzmunu ilə bağlı hər hansı qeyd və tövsiyələrin olduğu təqdirdə Texniki Universitetin ünvanına göndərilməsini rica edir.

GİRİŞ

Müasir elektroenergetika sistemlərinin (EES) inkişafı, energetika sektorunda gedən restrukturizasiya, bazar iqtisadiyyatına keçid, artıq fəaliyyət göstərən enerji birliklərinin paralel iş rejimlərinə olan tələblərin artması, EES-in rejimlərinin idarə olunması üçün yeni texniki və iqtisadi prinsiplərin işlənib həyata keçirilməsi, Avtomatlaşdırılmış Dispetçer İdarəetmə Sistemi kompleksinə daxil olan EES-in rejim etibarlığının və effektivliyinin təmin olunması üzrə mövcud kriteriya və metodların ciddi analizi ilə xarakterizə olunur. Bununla yanaşı bir neçə tendensiya müşahidə olunur:

1. Aqreqatların vahid qoyuluş gücünün artması. Bu eyni zamanda həm generasiya güclərinə, həm də elektrik enerjisi istehlakçılarına aiddir.

Ötən əsrin 80-ci illərinə kimi istehsal olunan maşınların konstruksiyası normalardan yuxarı olan qısaqapanma cərəyanlarının mexaniki və istilik təsirlərinə qarşı süni ehtiyatlarla təmin olunurdu. Lakin sonrakı illərdə iqtisadi kriteriyaların ciddi tələbləri və bazar iqtisadiyyatına keçid sözügedən ehtiyatın minumuma endirilməsini tələb etmişdir.

XX əsrin əvvəllərində keçid proseslərinin ciddi nəzəriyyəsinin işlənməsini zəruri etdi. Bu istiqamətdə ilk nəzəriyyə ötən əsrin 20-ci illərində R.Park tərəfindən yaradıldı.

2. Yüksək gərginlikli səbəkələrdə gərginlik sinfinin artması. Gərginliyin artması ilə yük verilişi artdığına görə və elektrik verilişinin etibarlığına qoyulan tələblərin sərtləşdirilməsi.

3. Enerji birliklərinin güclərinin artması. Bu gün bütün inkişaf etmiş ölkələrdə böyük enerji sistemləri yaradılmışdır. Avtonom rejimdə işləyən elektrik stansiyalarının və ya enerji sistemlərin digər elektrik sistemləri və enerjisistemləri ilə paralel (sinxron) iş rejiminə keçməsi elektrik enerjisinin istehsalına sərf olunan ümumi xərcləri azaltsa da, onların idarə olunmasını mürəkkəbləşdirir və ağır sistem qəzalarının baş vermə ehtimalını artırır.

Bu cür qəzaların qarşısının alınmasının ən yaxşı vasitəsi enerjisistemin idarə olunmasının yaxşılaşdırılmasıdır. Vasitələr iki yerə bölünür: operativ-dispetçer və avtomatik.

Operativ-dispetçer idarəçiliyi xüsusi hazırlanmış növbətçi heyətinin gücü ilə həyata keçirilir. Operativ idarəetmənin vacib şərtlərindən biri enerjisistemin cari vəziyyəti və həmçinin, əvvəlcədən analiz olunmuş normal və keçid prosesləri haqqında dolğun informasiyanın olmasıdır. Bu və digər informasiyaların vaxtında operativ heyətə verilməsi idarəetmənin effektivliyini şərtləndirən əsas məsələlərdəndir.

Avtomatik idarəetmə enerji sisteminin elementlərinin rele mühafizəsi və sistem avtomatikası tərəfindən həyata keçirilir.

Müasir inkişafın xarakterik xüsusiyyəti ondan ibarətdir ki, avtomatik idarəetmə sistemləri daima inkişaf edərək mürəkkəbləşir. Yuxarıda sadalanan tendensiyalardan əlavə bir sıra digər tendensiyalar da mövcuddur: kommutasiya avadanlıqlarının güclərinin artması, qısaqapanma cərəyanlarının qiymətlərinin yüksəlməsi və s. Ona görə də enerji sisteminin etibarlı və effektli işini təmin etmək üçün keçid proseslərinin ətraflı analizi tələb olunur.

H İ S S Ə I

QISAQAPANMA CƏRƏYANLARI

F ə s i l I

KEÇİD PROSESLƏRİ HAQQINDA ÜMUMİ MƏLUMAT

1.1. ƏSAS ANLAYIŞLAR VƏ TƏRİFLƏR

Elektrik sistemi (ES) – elektroenergetika sisteminin şərti olaraq ayrılmış bir hissədir. Burada elektrik enerjisi istehsal olunur, çevrilir, ötürülür və istehlak olunur. Qəza şəraiti nəticəsində sistemdə keçid prosesi yaranır və prosesin davam etdiyi müddətdə bir rejimdən digərinə keçid baş verir.

Sistemin iş rejimləri – zamanın istənilən anında elektrik sisteminin işini və onun vəziyyətini xarakterizə edən proseslərin yığımıdır. Rejimin parametrləri: gərginlik, güc və s. olmaqla öz aralarında sistemin parametrləri ilə əlaqəlidir. Sistemin parametrləri: müqavimət, keçiricilik, transformasiya əmsalı, zaman sabitləri və s. olmaqla, elementlərin fiziki xassələrinə görə təyin olunur. Elektrik sistemlərinin rejimləri bir neçə növə görə bir – birindən fərqləndirilir.

1. *Qərarlanmış (normal) rejim* – sistemin rejim parametrlərin kiçik hədlərdə dəyişməsi zamanı, onların dəyişmədiyini qəbul etməyə imkan verən vəziyyətidir.
2. *Normal keçid rejimləri* – sistemin normal istismarı (sistemin hər hansı bir elementinin qoşulması və açılması, yükün dəyişdirilməsi, sinxron maşınların (SM) sinxron qoşulması və s.) zamanı baş verən rejimdir.

3. *Qəza keçid rejimləri* – ES elementlərinin qəflətən açılması, onlarda qısaqapanma, bu elementlərin təkrarən qoşulması və açılması, SM –in qeyri – sinxron qoşulması və s. həyacanlanma (qəza) zamanı yaranır.
4. *Qəzadan sonrakı qərarlaşmış rejimlər* – ES –in zədələnmiş elementlərinin dövrədən açılmasından sonra baş verir. Bu zaman qəzadan sonrakı rejimin parametrləri normal (başlanğıc) rejimin parametrlərinə həm yaxın, həmdə onlardan xeyli fərqlənə bilər.

Bir rejimdən diqərinə keçid zamanı sistemin elemetlərinin elektromaqnit vəziyyəti dəyişir və generatorların və mühərriklərin valında (vərdənəsində) mexaniki və elektromaqnit momentlər arasında balans pozulur. Bu onu göstərir ki, keçid prosesi sistemdə elektromaqnit və mexaniki dəyişikliklərin yığımını (cəmini) xarakterizə edən prosesdir, onlar bir – biri ilə qarşılıqlı əlaqəlidir və bütöv bir vahidi ifadə edirlər. Buna baxmayaraq çox hallarda keçid prosesini iki mərhələyə bölürlər. Birinci mərhələdə ES –də fırlanan elektrik maşınlarının müəyyən ətalətə malik olduqlarına ğörə elektromaqnit dəyişikləri üstünlük təşkil edir. Bu mərhələ saniyənin yüzdə bir hissələrindın 0,1 ... 0,2 hissəsinə qədər davam edir və elektromaqnit k e ç i d p r o s e s i adlanır. İkincvi mərhələdə sistemin mexaniki xassəsi özünü biruzə verir və o keçid prosesinə əhəmiyyətli dərəcədə təsir edir. Bu mərhələ e l e k t r o m e x a n i k i k e ç i d p r o s e s i adlanır.

Əksər hallarda qəza keçid proseslərinin yaranmasına qısaqapanmalar səbəb olur. Qısaqapanma normal istismar şəraitində nəzərdə tutulmayan fazalararası və faza ilə yer arasında yaranan qapanmalardır. Neytralı yerdən izolyasiya olunmuş sistemlərdə bir fazanın yerlə qapanması (elektriki birləşməsi) s a d ə qapanma adlandırılır.

Yerlə birləşmə yerlərində çox hallarda elektrik qövsü yaranır. Qövsün müqaviməti qeyri – xətti xarakter daşıyır. Qövsün qısaqapanma (QQ) cərəyanına təsirinin nəzərəalınması mürəkkıb məsələdir.

Qısaqapanma yerində qövsün müqavimətindən başqa çirklənmənin, izolyasiya qalığının və s. olması ilə əlaqədar keçid müqaviməti yaranır. Keçid müqaviməti və qövsün müqaviməti kiçik olduğu hallarda onları nəzərə almırlar. Belə qapanma e l e k t r i k i qapanma adlandırılır. Maksimal mümkün olan cərəyanların hesabatı metalik QQ üçün yerinə yetirilir. Neytralı yerlə bilavasitə birləşdirilmiş elektrik sistemlərində dörd növ QQ bir – birindən fərqləndirilir (cədvələ bax). Onlaradan ən çox yarananı birfazalı QQ –dir. Onun ehtimalı şəbəkənin gərginliyi artması ilə yüksəlir. Bu fazalararası məsafənin artması ilə (orta hesabla bu məsafə 6 ...10 kV –də 0,7m olduğu halda 500 kV –luq şəbəkədə 14 metrə qədərdir) əlaqədardır. Bəzi hallarda qəza prosesinin inkişafı dövründə qısaqapanmanın ilkin növü başqa (məsələn, birfazalı QQ – yerlə ikifazalı QQ –yə) növ QQ –yə keçir.

Qeyri – simmetrik QQ, həmçinin qeyri – simmetrik yük sistemdə e n i n ə q e y r i – s i m m e t r i y a n ı yaradır. Üçfazalı şəbəkənin hər hansı bir

elementinin simmetriyasının pozulması (məsələn, elektrik verilişi xəttinin bir fazasının açılması) u z u n u n a q e y r i – s i m m e t r i y a n ı yaradır. Çoxqat qeyri – simmetrikliklə müşayət olunan zədələnmələr (məsələn, qısaqapanma və fazanın qırılması ilə) m ü r ə k k ə b zədələnmə adlanır.

Elektrik sistemlərində qısaqapanmaların ehtimalı

Qısa-qapanmanın növü və onun işarəsi	Prinsipial Sxemi	QQ-nin nisbi ehtimalı (%) Müxtəlif gərginlikli şəbəkələrdə, kV				
		6…20	35	110	220	500
Birfazalı $K^{(t)}$		61	67	83	88	95
İkifazalı $K_{(2)}$		17	18	5	3	2
Yerlə ikifazalı $K^{(1,1)}$		11	7	8	7	2
Üçfazalı $K^{(3)}$		11	8	4	2	1

1.2. QISAQAPANMALARIN YARANMASININ TƏBİƏTİ

Qısaqapanmanın yaranmasının bütün çoxşaxəli səbəblərinin əsaslarından bir neçəsini seçmək olar:

1)izolyasiyanın köhnəlməsi, izolyatorların səthinin çirklənməsi və mexaniki zədələnmələr nəticəsində elektrik avadanlığının izolyasiyasının pozulması;

2)elektrik şəbəkəsi elementlərinin mexaniki zədələnməsi (elektrik verilişi xətti naqilinin qırılması və s.);

3)qısaqapayıcının iş fəaliyyəti ilə məqsədyönlü (mühafizənin işləməsi üçün) yaradılan QQ;

4)heyvan və quşlarla cərəyandaşıyıcı hissələrin örtülməsi (qapanması);

5)əməliyyt heyətinin çevirmə aparılan zaman səhvi.

Elektrik sistemində QQ sayının azadılması “Elektrik qurğularının texniki istismar qaydaları”na ciddi riayət edilməsi və elektrotexnika sənayesinin məhsulunun keyfiyyətinin yüksəldilməsi ilə əlaqədardır.

1.3. QİSAQAPANMANIN NƏTİCƏLƏRİ

Qısaqapanmanın nəticələrindən bir neçəsini seçmək olar:

1. Sistemin dayanıqlığının pozulması ilə yaranan sistem qəzaları. Bu qısaqapanmanın ən təhlükəli nəticəsidir və o, kifayət qədər texniki – iqtisadi ziyana gətirib çıxarır.
2. Qısaqapanma cərəyanının təsirindən elektrik avadanlığının həddindən artıq qızması ilə əlaqədar olaraq onun termiki zədələnməsi.
3. Cərəyankeçirici hissələr arasında böyük elektromaqnit qüvvələrin təsirindən elektrik avadanlığının mexaniki zədələnməsi.
4. İstehlakçılarının iş şəraitinin ağırlaşdırılması. Gərginliyin 1 san. və ondan çox müddətdə nominaldan aşağı, məsələn 60 – 70% qədər enməsi zamanı sənaye müəssələrində mühərriklərin kütləvi olaraq dayanması mümkündür. Bu isə öz növbəsində texnoloji proseslərin pozulmasına və iqtisadi ziyanın yaranmasına səbəb ola bilər.
5. Qeyri simmetrik QQ zamanı qonşu rabitə və siqnalizasiya xəttlərinə induksiyalanan elektrik hərəkət qüvvəsi (EHQ) xidmət heyəti üçün təhlükəli ola bilər.

Qısaqapanma zamanı onun yarandığı yerlə yanaşı olan sistem elementləri üçün ən böyük təhlükə yaranır. Qısaqapanmanın yarandığı yerdən və davamiyyət müddətindən asılı olaraq onun nətıcəsi yerli (qidalanma mənbəyindən uzaqlıda olan QQ) xarakterli ola bilər yaxud bütün sistemin fəaliyyətində əks oluna bilər.

1.4. QISAQAPANMA HESABLAMALARININ TƏYİNATI

Qısaqapanma cərəyanlarının hesablamaları aşağıdakı məqsədlərə nail olmaq üçün vacibdir:

1) qəza rejimlərində istehlakçıların iş şəraitinin təyin edilməsi;
2) aparatların və keçiricilərin seçilməsi və elektrodinamik və termik dayanıqlıq şərtlərinə görə onların yoxlanılması;
3) rele mühafizəsi və avtomatika qurğularının layihələndirilməsi və sazlanması;
4) elektrik birləşmələrinin müqayisə edilməsi, qiymətləndirilməsi və seçilməsi;
5) mühafizə qurğularının layihələndirilməsi və yoxlanılması;

6) rabitə xətlərinə elektrik verilişi xətlərinin təsirinin təyin edilməsi;
7) yerlə birləşdirilmiş neytralların sayının təyini və onların ES-də yerləşdirilməsi;
8) boşaldıcıların seçilməsi;
9) qəzaların analizi;
10) elektrik sistemində müxtəlif sınaqların keçirilməsinə hazırlığın yerinə yetirilməsi.

Qısaqapanmanın hesabatının dəqiqliyi onun məqsədindən asılıdır. Beləliklə elektrik aparatlarının seçilməsi və yoxlanılması zamanı hesabatın yüksək dəqiqliyi tələb olunmur, ona görə ki, onların bir növündən digərinə keçid halında aparatların parametrləri pillələrlə dəyişir. Rele mühafizəsi və avtomatika qurğularının seçilməsi zamanı hesabatın dəqiqliyi xeyli yüksək olmalıdır.

YOXLAMA SUALLARI

1. Sistemin iş rejimləri, sistemin parametrləri, rejimin parametrləri, qərarlaşmış rejim və qəzadan sonrakı qərarlaşmış rejim kimi anlayışların izahını verin.
2. Elektrik sistemində qısaqapanmanın ehtimalı nəqədərdir və hansı növ qısaqapanmalar vardır?
3. Qısaqapanmaların yaranmasının ən çox təsadüf olunan səbəblərini sayın.
4. Qısaqapanmanın ən ağır nəticəsi hansıdır?
5. Qısaqapanmanın hesablamaları hansı məqsədlər üçün yerinə yetirilir?

F ə s i l 2

KEÇİD PROSESLƏRİNİN HESABATI ZAMANI ƏVƏZ SXEMLƏRİNDƏ ELEKTRİK SİSTEMİ ELEMENTLƏRİNİN GÖSTƏRİLMƏSİ

2.1. SİNXRON MAŞINLAR

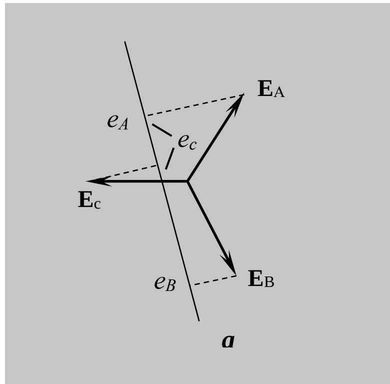
Sinxron maşınların təsvir edilmə üsulları keçid prosesinin və onun mərhələlərinin hesabatının məqsədindən, hesabatın dəqiqliyinə qoyulan tələblərdən və bu maşının tədqiq olunan prosesə təsirindən asılıdır [17].

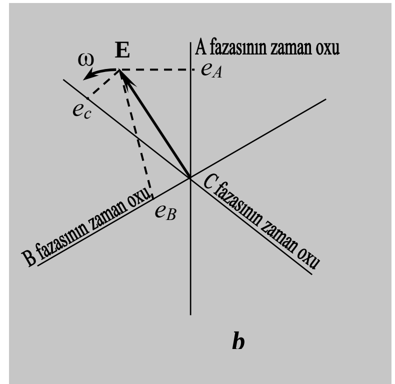
Keçid proseslərinin hesablamalarının nəticələrinə əhəmiyyətli dərəcədə təsir edən sinxron maşınlarını Park – Qorev tənlikləri ilə, qalan hallarda isə Lebedev – Jdanov tənlikləri, yaxud baxılan rejimə uyğun olan EHQ və müqavimətlə təqdim etmək lazımdır. Keçid prosesinin yaranmasında ES-in ayrı – ayrı elementlərinin roluna 2.9 bölməsində baxılmışdır.

2.1.1. Üçfazalı sistemin ümumiləşdirilmiş vektoru

Sinxron maşının iş rejimini zaman görə və fəzada yerinə görə dəyişən vektor kimi təsvir etmək olar.

Üçfazalı simmetrik gərginlik və cərəyanın vektorlar sistemi üçün (üç vektor 120^0 sürüşdürülüb) hər bir fazada cərəyanın və ya gərginliyin ani qiyməti müvafiq vektorun zaman oxuna proeksiyası kimi alınır. Vektorların bucaq sürəti ilə fırladılması gərginlik və ya cərəyanın ani qiymətinin zamana görə dəyişməsini verər (şəkil 2.1, a).





Şəkil 2.1. Üç fazalı sistemdə cəryan və gərginliyin anı qiymətlərinin təyini (*a*) və bu qiymətlərin ümumiləşdirilmiş vektorun köməyi ilə təyini (*b*)

Lakin, cərəyanın və ya gərginliyin ani qiymətinin dəyişməsini başqa üsullarla da almaq olar. Əgər hər bir faza üçün özünün zaman oxunu götürsək, o vaxt bir – birinə nəzarən 120^0 sürüşmüş üç ox alarıq. ω bucaq sürətilə fırlanan bir **E** vektorunun bu zaman oxları üzərinə proeksiyası **E** vektorunun ani qiymətinin dəyişməsini verəcəkdir. Belə ki, zaman oxu üçün faza ardıcıllığı gərginlik vektorlarının faza ardıcıllığına əks olur (şəkil 2.1, *b*).

Üç zaman oxunda proeksiyası olan vektor ayrı – ayrı fazalarda onun anı qiymətini verirsə belə vektor ü ş f a z a l ı s i s t e m i n ü m u m i l ə ş d i r i l m i ş v e k t o r u adlanır.

Ümumiləşdirilmiş vektorun əsas üstünlüyü ondan ibarətdir ki, onu asanlıqla rotor dövrəsinin maqnit seli və onun fırlanması ilə əlaqələndirmək olur.

2.1.2. Sinxron maşınların vektor diaqramı

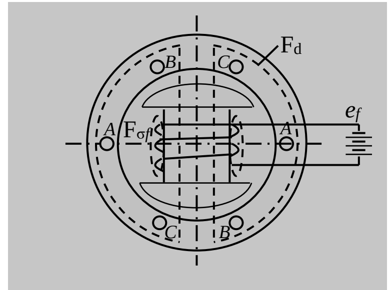
Sinxron maşının stasionar rejiminə baxaq. Yüksüz işləmə zamanı sabit cərəyan təsirləndirmə dolağından axaraq F_f maqnit selini yaradır (şək.2.2). Bu maqnit selinin bir hissəsi F_d statorun dəmirində qapanır. Digər, rotorun səpələnmə maqnit seli adlanan $F_{\sigma f}$ hissəsi, havada qapanır və aşağıdakı formula ilə təyin olunur

$$F_{\sigma f} = \delta_f F_f \ ,$$

burada δ_f – rotorun səpələnmə əmsalı adlanır.

Maşının hava aralığında F maqnit selinin fırlanması zamanı stator dolağında EHQ induksiyalanır. Üç faza üçün bu EHQ-nin qiyməti aşağıdakı formulalarla təyin olunur (*Əlavə 1*):

$$\left. \begin{aligned} E_A &= -\frac{d\Psi_A}{dt} \\ E_B &= -\frac{d\Psi_B}{dt}, E_C = -\frac{d\Psi_C}{dt} \end{aligned} \right\}, \quad (2.1)$$



Şəkil 2.2. Yüksüz işləmədə sinxron maşının ani selləri

burada Ψ_A, Ψ_B, Ψ_C – fazaların dolaqlar ilə F_d maqnit selinin ilişmə selləridir (bütün kəmiyyətlər nisbi vahidlərdə ifadə edildiyinə görə, mütənasiblik əmsalları buraxılmışdır).

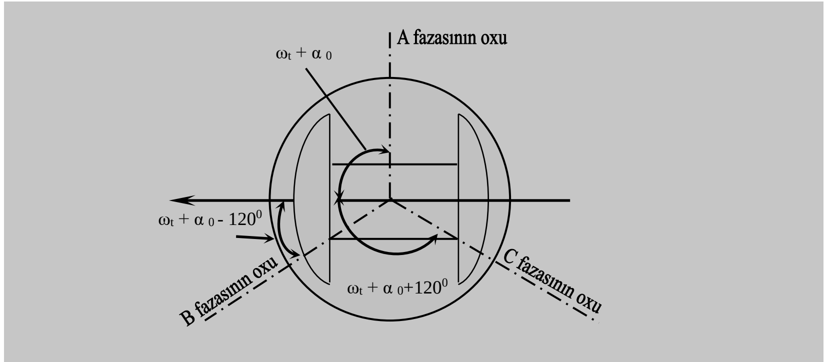
Maqnit selinin əsas harmonikasını nəzərə alaraq ilişmə seli üçün (şəkil 2.3) aşağıdakı ifadəni yazmaq olar.

$$\left.\begin{aligned}\Psi_{At} &= \Psi_{d\Sigma}\cos(\omega t+\alpha_0)\\ \Psi_{Bt} &= \Psi_{d\Sigma}\cos(\omega t+\alpha_0-120^0)\\ \Psi_{Ct} &= \Psi_{d\Sigma}\cos(\omega t+\alpha_0+120^0)\end{aligned}\right\}, \qquad (2.2)$$

burada $\Psi_{d\Sigma}$ –ilişmə selinin maksimal qiymətidir və o, rotorun oxunun qutbləri ilə fazaların oxları üst – üstə düşdüyü zaman alınır; α_0 – ixtiyarı bucaqdır.

(2.2) ifadəsini (2.1) –də yerinə yazaraq, alarıq

$$\left.\begin{aligned}E_A &= \omega\Psi_{d\Sigma}\sin(\omega t+\alpha_0)\\ E_B &= \omega\Psi_{d\Sigma}\sin(\omega t+\alpha_0-120^0)\\ E_C &= \omega\Psi_{d\Sigma}\sin(\omega t+\alpha_0+120^0)\end{aligned}\right\}, \qquad (2.3)$$



Şəkil 2.3. Sinxron maşının dolaqlarının qarşılıqlı yerləşməsi

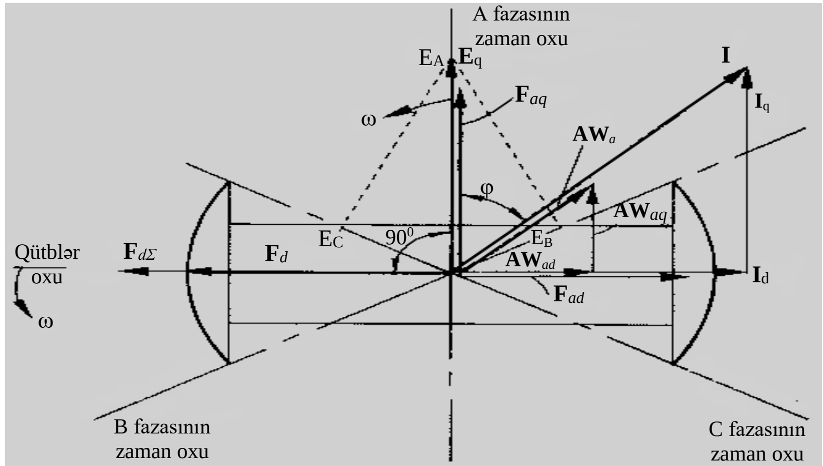
Elektrik hərəkət güvvəsinin bu qiymətini ω bucaq sürəti ilə fırlanan ümumiləşdirilmiş EHQ vektoru $\mathbf{E}_q$ –nin üç zaman oxu üzrə proeksiyası və onun maşının maqnit oxu ilə üst-üstə düşməsi kimi, təsəvvür etmək olar (şəkil 2.4). Ümumiləşdirilmiş EHQ vektoru aşağıdakı kimi təyin edilir.

$$\mathbf{E}_q = \omega\mathbf{\Psi}_d$$

(2.2) və (2.3) bərabərliklər sistemindən görsənir ki, $\mathbf{E}_q$ vektoru maqnit selinin $\mathbf{F}_d$ və ilişmə selinin $\mathbf{\Psi}_{d\Sigma}$ vektorlarından 90^0 geri qalır. Generatorun

yüklənməsi zamanı stator dolağından $\mathbf{E}_q$ EHQ – sindən φ bucağı qədər geri qalan simmetrik cərəyanlar axır ($\alpha_0 = 0$):

$$I_A = I\sin(\omega t - \varphi),$$
$$I_B = I\sin(\omega t - \varphi - 120^0),$$
$$I_C = I\sin(\omega t - \varphi + 120^0),$$



Şəkil 2.4. Sinxron maşının ümumiləşdirilmiş vektorları

yəni I_A, I_B, I_C cərəyanları I vektorunun A, B, C fazalarının oxuna proeksiyası kimi alınır.

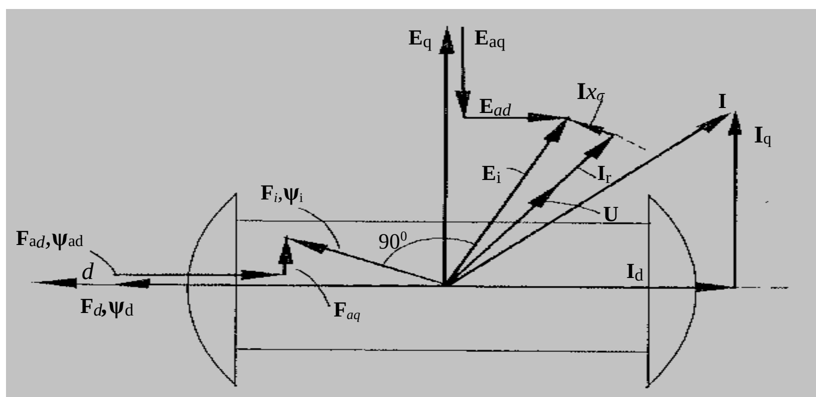
Üçfazalı cərəyan stator dolağında statorun boşluğunda fırlanan amper – sarğı* yaradır [13]. Onların amplitudu faza dolağının oxu ilə o vaxt üst-üstə düşür ki, həmin fazada cərəyanın anı qiyməti maksimuma çatmış olsun. Ona görə də vektor diaqramında statorun amper-sarğısının amplitudu cərəyanın ümumiləşdirilmiş vektorunun istiqaməti ilə üst-üstə düşməlidir. Statorun fürlanan amper – sarğıları maşının hava aralığında maqnit sahəsi yaradır. Onlar maşının rotorunun fırlanma sürətinə bərabər olan sürətlə fırlanırlar, ona görədə rotora

*Beynəlxalq vahidlər sistemində amper – sarğı dolağın yaratdığı maqnit hərəkət qüvvəsinin ölçü vahididir

nisbətən hərəkətsizdirlər. Statorun amper – sarğılarının amplitudası rotorun qütblərinin oxuna nisbətən 90^0 + φ bucağı qədər sürüşmüşdür və maşının iş rejimindən asılı olaraq müxtəlif qiymətlər ala bilər. Aydın qütblü maşınlar üçün uzununa və eninə oxlarda maqnit müqaviməti müxtəlifdir. Ona görədə statorun amper – sarğılarının yaratdığı maqnit selinin qiyməti onların amplitudunun rotorun oxu ilə üst-üstə düşməsindən yaxud ona nisbətən 90^0 sürüşməsindən asılıdır. Maşının uzununa və eninə oxlarında maqnit müqavimətlərinin müxtəlifliyini nəzərə almaq üçün cərəyanının ümumiləşdirilmiş vektoru **I** və onun yaratdığı statorun amper – sarğısını qütblərin oxu ilə üst-üstə düşən $\mathbf{I}_d$ və $\mathbf{AW}_{ad}$ uzununa mürəkkəbələrə və bu oxa perpendikulyar olan $\mathbf{I}_q$ və $\mathbf{AW}_{aq}$ eninə mürəkkəbələrə ayırırlar. Statorun uzununa amper – sarğısı qütblərin oxu ilə üst-üstə düşən statorun uzununa reaksiyasının maqnit seli $\mathbf{F}_{ad}$-ni yaradır (şəkil 2.4). Bu maqnit seli təsirlənmənin əsas selini azaldır.

Statorun eninə amper – sarğıları statorun eninə reaksiyasının maqnit selini $\mathbf{F}_{aq}$-i yaradır ki, onların da istiqaməti amper – sarğıların istiqaməti ilə üst-üstə düşür, yəni qütblərin oxuna nisbətən 90^0 sürüşdürülmüş olur. Bu maqnit seli, qütblərin bir tərəfində təsirlənmənin əsas maqnit selini zəyiflədir və digər tərəfində gücləndirir, beləliklə, hava araldığında maqnit seli oxlunu sürüşdürür.

Təsirlənmə dolağı və statorun amper – sarğılarının birgə təsiri maşının hava aralığında hə hansı F_i yekünlaşdırıcı maqnit selini yaradır. Bu maqnit selinə uyğun olan ilişmə seli və onların induksiyaladığı stator dolaqlarının EHQ-si ümumiləşdirilmiş $\mathbf{\Psi}_i$ və $\mathbf{E}_i$ vektorları ilə təsvir oluna bilər. İlişmə seli $\mathbf{\Psi}_i$ –ni təsirlənmə maqnit selindən ilişmə seli $\mathbf{\Psi}_d$ və statorun reaksiyasının maqnit sellərindən ilişmə selləri $\mathbf{\Psi}_{ad}$ və $\mathbf{\Psi}_{aq}$ –nün həndəsi cəmi kimi göstərmək olar. Eyni ilə də daxili EHQ $\mathbf{E}_i$ -yə ayrı-ayrı mürəkkəbələrin ilişmə sellərinin induksiyaladığı EHQ-lərin həndəsi cəmi kimi baxmaq olar (şəkil 2.5). Uzununa reaksiyanın maqnit



Şəkil 2.5. Yüklənmə zamanı sinxron maşının vektor diaqramı

seli F_{ad} cərəyanın uzununa mürəkkəbəsinə $\mathbf{I}_d$ –yə (doyma olamdan) mütənasibdir, eninə reaksiyanın maqnit seli F_{aq} isə $\mathbf{I}_q$ –yə mütənasibdir. Beləliklə, ilişmə seli onların induksiyaladığı EHQ maqnit selinə mütənasib olduğuna görə, statorun reaksiyasının EHQ –sü üçün aşağıdakı ifadələri yazmaq olar.

$$E_{aq} = I_d X_{ad,} \qquad E_{ad} = I_q X_{aq,}$$

burada X_{ad}, X_{aq} – mütənasiblik əmsallarıdır və statorun uzununa və eninə reaksiyasının, uyğun olaraq, induktiv müqavimətləri adlanırlar. Maşının çıxışındakı gərginliyi U statorun səpələnmə induktiv müqavimətində və onun aktiv müqavimətlərinin gərginlik düşgüləri $İx_\sigma$ və $İr$ nəzərə alınaraq təyin olunur (şəkil 2.5).

Sinxron maşının vektor diaqramını bir qədər dəyişdirmək mümkündür. Səpələnmə induktiv müqavimətinin x_σ gərginlik düşgüsünü iki mürəkkəbəyə, yəni cərəyanın eninə və uzununa uyğun mürəkkəbələrə ayıraq (bu halda aktiv müqaviməti nəzərə almırıq) (şəkil 2.6). Bu zaman maşında olan gərginlik düşküsünü cərəyanın eninə və uzununa mürəkkəbələrini gərginlik düşgülərinin həndəsi cəmi kimi göstərmək olar.

Vektor diaqramından görsənir ki, aydın qütblü sinxron maşın cərəyanın uzununa və eninə mürəkkəbələri üçün müxtəlif induktiv müqavimətə malikdir. Bu müqavimətlər induktiv müqavimətin eninə x_q və uzununa x_d sinxron induktiv müqavimətlər adlanırlar. Vektor diaqramına uyğun olaraq (şəkil 2.6) onlar üçün formulaları yazaq

$$x_d = x_\sigma + x_{ad,} \qquad x_q = x_\sigma + x_{aq,}$$

İnduktiv müqavimətlər x_d və x_q –nin fərqli olması, statorun dairəsi boyunca hava aralığının qeyri – bərabər olması ilə izah olunur. Belə ki, eyni maqnit hərəkət qüvvəsi (MHQ) zamanı statorun reaksiyası müxtəlif reaksiyaların maqnit selini yaradır. Aydın görünən qütblü maşınlarda maqnit müqaviməti eninə istiqamətdə uzununa istiqamətdən çox olduğu üçün eninə sinxron induktiv müqavimət uzunadan kiçik alınır.

Aydın qütblü maşınların ilişmə selinin və gərginliyinin vektor diaqramı şəkil 2.7 –də verilib. Burada statorun reaksiyasının uzununa ilişmə seli onun səpələnməsi nəzərə alınmaqla

$$\Psi_{ald} = I_d x_d;$$

statorun reaksiyasının eninə ilişmə seli onun səpələnməsi nəzərə alınmaqla

$\Psi_{alq} = I_q x_q,$ –yə bərabərdir.

Şəkil 2.6. Aydın qütblü sinxron maşının vektor diaqramı

Şəkil 2.7. Sinxron generatorun ilişmə seli və gərginliyin mürəkkəblərinin vektor diaqramı

Şəkil 2.8 .Qeyri aydın qütblü maşının sxemi

Bu ilişmə sellərinin istiqaməti cərəyanın istiqaməti ilə üst-üstə düşür. Maşının çıxışlarındakı gırginliyi **U** yekun ilişmə seli **Ψ** ilə təyin olunur və ondan 90^0 geri qalır:

$$\mathbf{U} = \omega \mathbf{\Psi},$$

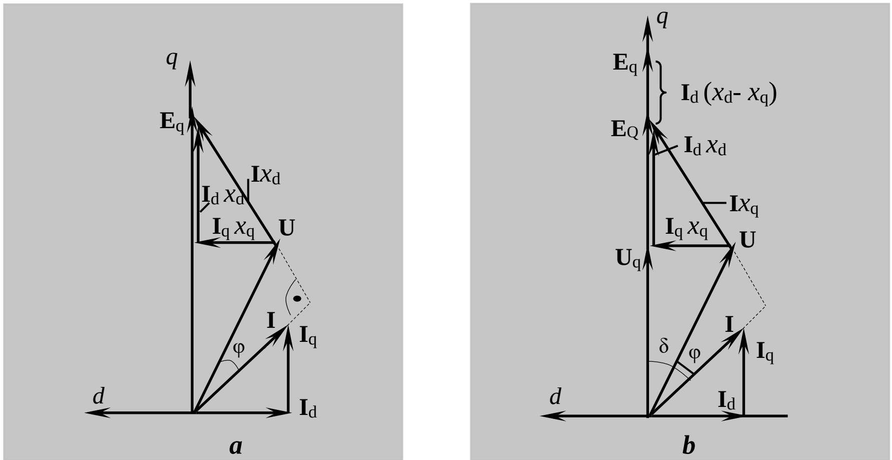
gərginliyin mürəkkəbələri isə aşağıdakı formulalarla təyin olunur.

$$\begin{aligned} \mathbf{U}_q &= \omega \mathbf{\Psi}_d = \omega\left(i_f x_{ad} - \mathbf{I}_d x_d\right), \\ \mathbf{U_d} &= \omega \mathbf{\Psi}_q = \omega \mathbf{\Psi}_{ald} = \mathbf{I}_q x_q. \end{aligned} \qquad (2.4)$$

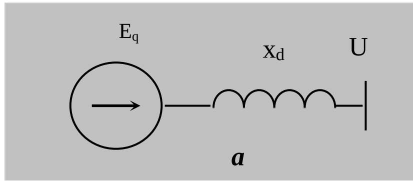
Qeyri aydın qutblü sinxron maşınlarda hava aralıqlarının eni bir-birinə bərabərdir (şəkil 2.8). Belə maşınlarda statorun reaksiyasının uzununa və eninə selləri üçün maqnit müqavimətləri də bərabərdir. Ona görə də uzununa və eninə sinxron induktiv müqavimətlər bərabərdirlər ($x_d = x_q$).

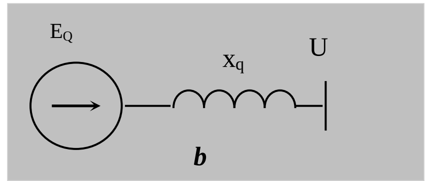
Maşının vektor diaqramı şəkil 2.9, *a* –da verilmişdir. Şəkildən görsənir ki, maşının sıxaclarında gərginliyi təyin etmək üçün cərəyanı uzununa və eninə tərkiblərə ayırmaq vacib deyil. Bunun üçün tam cərəyanın sinxron induktiv müqavimətə hasilini $\dot{\mathbf{I}}x_d$ götürüb, bu vektoru $\mathbf{E}_q$ vektorundan çıxmaq kifayətdir. Beləliklə, qütbləri aydın görünməyən sinxron maşını şəkil 2.10 *a* –da verilən əvəz sxemi ilə göstərmək olar. Aydın qütblü maşınlarda uzununa və eninə oxlarda induktiv müqavimət bərabər olmadığına görə, ciddi baxsaq maşını bir müqavimətlə göstərmək mümkün deyil.

Bu halda aşağıdakı kimi hərəkət edirlər: cərəyanı və gücü təyin etmək üçün həqiqi maşının əvəzinə eninə və uzununa induktiv müqavimətlərinə görə eyni olan fiktiv maşına baxırlar. Müqaviməti və EHQ –ni elə götürürlər ki, maşının çıxışlarında gərginliyin U və bucağın δ eyni qiymətində onun aktiv və reaktiv gücü həqiqi maşındakı kimi alınsın. Əgər maşının müqavimətini x_q –yə bərabər qəbul etsək, bu şərt təmin olunar.



Şəkil 2.9. Qeyri aydın qütblü (*a*) və aydın qutblü (*b*) maşının vektor diaqramı





Şəkil 2.10. Qeyri aydın qütblü (*a*) və aydın qütblü (*b*) maşının əvəz sxemi

Belə bir iktiv maşını EHQ –si $\mathbf{E}_Q$ vektoru ilə göstərilir və o, hər zaman $\mathbf{E}_q$ vektoru (şəkil 2.9, *b*) ilə üst-üstə düşür. Beləliklə, fiktiv EHQ $\mathbf{E}_Q$ –ni daxil etməklə aydın qütblü maşını ona ekvivalent olan x_q müqavimətli maşınla əvəz etmək olar və onun üçün şəkil 2.10, *b* –də göstərilən ekvivalent əvəz sxemini tərtib etmək olar.

2.1.3. Sinxron maşının zaman sabiti

Zaman sabiti maşının rejimi kəskin dəyişən zaman onun müxtəlif dolaqlarında cərəyanın sönməsini (tədricən azalmasını) təyin edir.

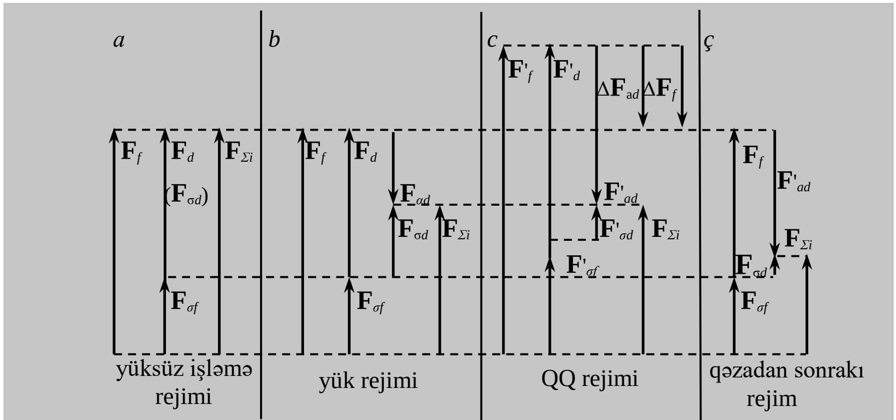
Sinxron maşını aşağıda verilən zaman sabitləri (rotorun nominal fırlanma tezliyi zamanı təyin edilən) xarakterizə edir:

- T_{d0} – stator dolağının açıq halında təsirlənmə dolağının zaman sabiti. Bu, açıq stator dolağının gərginliyinin tədricən dəyişən tərkibinin, maşının iş rejimi qəflətən dəyişdikdən sonra, öz başlanğıc qiymətindən 1/e = 0.368 – ə qədər sönməsinə sərf olunan müddətdir;
- T'_d – stator dolağının qısa qapanma halında uzununa ox üzrə keçid zaman sabitidir. Bu, statorun uzununa cərəyanının tədricən dəyişən tərkibinin, maşının iş rejimi qəflətən dəyişdikdən sonra, öz başlanğıc qiymətindən 1/*e* = 0.368 –ə qədər sönməsinə sərf olunan müddətdir;
- T''_d – stator dolağı qısa qapanma halında uzununa ox üzrə ifrat keçid zaman sabitidir. Bu, bir neçə ilkin period ərzində müşahidə olunan statorun uzununa cərəyanının cəld dəyişən tərkibinin, maşının iş rejimi qəflətən dəyişdikdən sonra, öz başlanğıc qiymətindən 1/*e* = 0.368 –ə qədər sönməsinə sərf olunan müddətdir;
- T_a – qısaqapanmış stator dolağının zaman sabitidir. Bu, stator dolağının qısaqapanmış halında cərəyanının aperiodik tərkibinin, maşının iş rejimini qəflətən dəyişdikdən sonra, öz başlanğıc qiymətindən 1/*e* = 0.368 –ə qədər sönməsinə sərf olunan müddətdir.

2.1.4. Sinxron maşının keçid EHQ-si və induktiv müqaviməti

Keçid prosesinin başlanğıc anında hansı EHQ və reaktivliklə sinxron maşını xarakterizə etmək mümkün olmasını aydınlaşıraq. Belə hesab edək ki, keçid prosesi maşının statorunun sıxaclarında üçfazalı QQ nəticəsində baş verib.

Dempfer dolağı olmayan maşının rotorunun uzununa oxunda maqnit sellərinin balansına bir neçə rejimlərdə baxaq: *a*) yüksüz işləmə rejimi; *b*) yük rejimi; *c*) QQ rejimi; *ç*) qəzadan sonrakı rejim. Bu rejimlər üçün maqnit sellərinin balansı şəkil 2.11–də göstərilib.



Şəkil 2.11. Sinxron maşının maqnit sellərinin balansı: $\mathbf{F}_f$ – təsirlənmə dolağının ümumi (tam) seli; $\mathbf{F}_{\sigma f}$ – təsirlənmə dolağının səpələnmə seli; $\mathbf{F}_d$ – təsirlənmə dolağının yaratdığı faydalı sel; $\mathbf{F}_{\alpha d}$, $\mathbf{F}'_{\alpha d}$ – statorun uzununa reaksiyasının selləri; $\mathbf{F}_{\Sigma i}$ – yekunlaşdırıcı maqnit seli; $\mathbf{F}_{\alpha d}$, $\mathbf{F}'_{\alpha d}$ – hava aralığında uzununa sellər.

Maşının yüksüz işləmə rejimində təsirlənmə dolağının ümumi (tam) seli F_f rotorun səpələnmə seli $F_{\sigma f}$ və faydalı sel F_d –dən ibarət olmaqla təsirlənmə dolağı ilə ilişdirilmiş yekünlaşdırıcı maqnit seli $F_{\Sigma i}$ –yə bərabərdir.

Doymamış maşında $F_{\sigma f}$ seli F_f selinin sabit bir hissəsini təşkil edir və o, təsirlənmə dolağının səpələnmə əmsalı ilə xarakterizə olunur:

$$\delta_{\mathbf{f}} = \frac{F_{\sigma f}}{\mathbf{F_f}}$$

Yük rejimində statorun cərəyanı ilə təyin olunan statorun reaksiyasının seli– $F_{\alpha d}$ –yaranır. Yaranmış $F_{\alpha d}$ seli yekunlaşdırıcı $F_{\Sigma i}$ azaldır. Təsirlənmə dolağının i_f cərəyanın yaratdığı maqnit selinin işləmə seli Ψ_f aşağıdakı formula ilə təyin olunur

$$\Psi_f = i_f x_f ,$$

burada x_f – təsirlənmə dolağının induktivliyidir. Stator cərəyanının uzununa tərkibi I_d ilə yaradılan statorun reaksiyasının $F_{\alpha d}$ seli də təsirlənmə dolağına daxil olur və ilişmə selini müəyyən edir:

$$\Psi_{ad} = I_d x_{ad} ,$$

burada x_{ad} – statorun reaksiyasının induktiv müqavimətidir. Lens qaydasına uyğun olaraq (əlavə *1*–ə bax) təsirlənmə dolağının ümumi (tam) ilişmə seli aşağıdakı formula ilə təyin olunur.

$$\Psi_{\Sigma i} = \Psi_f - \Psi_{ad} = i_f x_f - I_d x_{ad} . \qquad (2.5)$$

Maqnit selinin sıazıb keçdiyi stator dolağının ilişmə selinə baxaq: a) statorun reaksiyası $F_{\alpha d}$ –yə; b) statorun səpələnmə seli F_σ –ə; c) faydalı F_d –yə. Buna görə də stator dolağının ilişmə selini aşağıdakı kimi yaza bilərik:

$$\Psi_d = i_f x_{ad} - I_d \left(x_\sigma + x_{ad} \right) = i_f x_{ad} - I_d x_d , \quad (2.6)$$

burada x_σ – stator dolağının səpələnmə müqaviməti; $x_d = x_\sigma + x_{ad}$ – uzununa ox üzrə stator dolağının sinxron induktiv müqavimətidir.

Fırlanma tezliyinin dəyişməyən halında generatorun gərginliyinin eninə tərkibi U_q stator dolağının ilişmə selinə Ψ mütənasibdir, nisbi vahidlər isə ona bərabərdir:

$$\Psi_{d*} = U_{q*} .$$

Əgər maşının sıxaclarında QQ zamanı stator cərəyanının* aperiodik mürəkkəbəsini nəzərə almasaq I_d cərəyanı sıçrayışla dəyişəcək. Bu halda stator reaksiyasının selini artıran $\Delta\Psi_{ad}$ seli yaranır. Təsirlənmə dolağının yekunlaşdırıcı

---

*Aperiodik təşkiledici iki səbəbdən nəzərə alınmaya bilər: onun tez (bir neçə periodda) bir zamanda sönməsi; Təşkiledicisinin yaratdığı maqnit seli statora nisbətən tərpənməzdir (sükunətdədir) və təsirlənmə dolağının cərəyanı ilə qarşılıqlı əlaqədə olaraq orta qiyməti sıfıra yaxın olan döyünən xarakterli fırladıcı moment yaradır. Aperiodik təşkiledici maşının yırğalanmasına təsir göstərmir və dayanıqlığı tədqiq edən zaman nəzərə alınmaya bilər.

ilişmə selinin dəyişməz qalması üçün onunla eyni bir vaxtda təsirlənmə cəryanı i_f sıçrayışla dəyişir. Bununla, F_f selini artıran ΔF_f seli yaranır. F_f selinin artması ilə ona mütənasib olaraq $F_{\sigma f}$ seli artır. Bu isə $F_{\sigma d}$ selini $F'_{\sigma d}$ qiymətinə qədər azaldır (şəkil 2.11, *c*). Beləliklə, qısaqapanmanın başlanğıc anında ancaq $F_{\Sigma i}$ seli sabit qalır. $F_{\Sigma i}$ –nin ilişmə selinə uyğun olan EHQ –ni təyin etmək üçün (2.5) –dən i_f –i təyin edək:

$$i_f = \frac{\Psi_{\Sigma i} + I_d x_{ad}}{x_f}.$$

i_f –in ifadəsini (2.6) bərabərliyində yerinə yazsaq, alarıq

$$\Psi_d = U_q = \frac{x_{ad}}{x_f}(\Psi_{\Sigma i} + I_d x_{ad}) - I_d x_d,$$

$$U_q = \psi_{\Sigma i}\frac{x_{ad}}{x_f} - I_d\left(x_d - \frac{x_{ad}^2}{x_f}\right). \qquad (2.7)$$

(2.7) ifadəsini başqa cür də yazmaq olar:

$$U_q = E'_q - I_d x'_d, \qquad (2.8)$$

burada $x'_d = x_d - \frac{x_{ad}^2}{x_f}$ – generatorun keçid induktiv müqavimətidir;

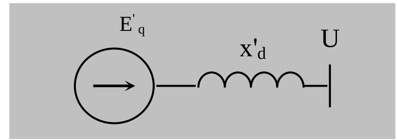
$E'_q = \Psi_{\Sigma i}\frac{x_{ad}}{x_f}$ – keçid induktiv müqavimətinə uyğun EHQ-nin uzununa mürəkkəbəsidir.

E'_q EHQ –si maşının həqiqi EHQ –si deyil. O, təsirləmə dolağının ümumi işləmə selinə Ψ_i mütənasib olan bir şərti kəmiyyəti ifadə edir və ona görə də sinxron maşının iş rejiminin pozulmasının ilkin anında dəyişməz qalır. E'_q –nin sabitliyi sinxron maşının EHQ –sini təsvür etməyə imkan verən çox vacib, bundan əvvəlki rejimdə hesablanmış və keçid prosesinin ilkin anında dəyişməyən xassəsidir.

Sonradan E'_q $T_{d0} = I/r_f$ zaman sabiti ilə dəyişərək təsirlənmə cərəyanın qərarlaşmış qiymətinə uyğun olan qərarlaşmış qiymətə yaxınlaşmağa çalışır.

Rotorun eninə oxunda hər hansı qısaqapanmış kontur olmadığı halda aydındır ki,

$$E_d^{/}=0, \quad x_q^{/}=x_q \ .$$



*Səkil 2.12.*Aydın qütblü sinxron maşının keçid rejimində əvəz sxemi

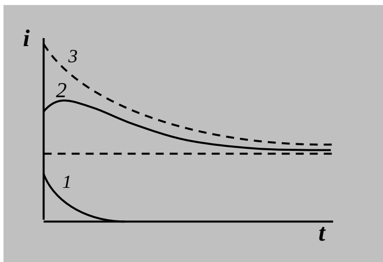
Beləliklə aydın qütblü maşın, eyni ilə də dempfer dolağı olmayan qeyri aydın qütblü sinxron sinxron maşın keçid rejimində E'_q EHQ –si və ona uyğun gələn x'_q kimi (şəkil 2.12) təqdim etmək olar.

2.1.5. Sinxron maşının ifrat keçid EHQ–si və induktiv müqaviməti

Dempfer dolağı olduqda sinxron maşının uzununa oxu üzrə statorun reaksiyasının kompensasiyası yalnız təsirlənmə dolağının cəryanı ilə deyil, həm də dempfer dolağının cəryanı ilə təmin olunur ki, bunun nəticəsində də dempfer dolağı olan halda kompensasiya onun olmayan halına nisbətən daha dolğun təmin olunur.

Rejim pozulduğu anda təsirlənmə dolağında cərəyanın dəyişmə qiyməti, dempfer dolağının olmayan halına nisbətən daha kiçik olur. Bununla, dempfer dolağında da cəryan yaranır, hansl ki, təsirlənmə dolağının cəryanına nisbətən daha tez sönür. Onların sönməsi dövründə təsirlənmə dolağında cərəyan müvafiq qiymətə qədər artır. Sanki, cərəyanın dempfer dolağından təsirlənmə dolağına transferi baş verir (şəkil 2.13).

Təsəvvür edək ki, rotorda təsirlənmə dolağından əlavə uzununa və eninə oxların hər biri üzrə bir ədəd də



Şəkil 2.13. Keçid rejimində sinxron maşının rotor dolağındakı cərəyanlar:dempfer dolağında (1-ci əyri), təsirlənmə dolağında (2-ci əyri), dempfer dolağı olmayan maşının təsirlənmə dolağında (3-cü əyri)

də dempfer dolağı var. Hesabatların sadə olması üçün qəbul edək ki, statorun dolaqları və rotorun uzununa oxu üzrə onun

hər iki dolaqları öz aralarında F_{ad} ümumi qarşılıqlı induksiya seli ilə əlaqədardırlar və bu induksiya uzununa reaksiyanın x_{ad} reaktivliyini təyin edir. Belə bir maşında selin qəflətən artımı ΔF_{ad} rotorun cavab reaksiyasını yaradar və o, təsirlənmə dolağının ΔF_f və uzununa dempfer dolağının ΔF_{id} sellərinin olan artımından yaranır.

Yekunlaşdırıcı ilişmə sellərinin balansı dəyişməz qalmalıdır, yəni aşağıdakı şərt yetirilməlidir:

– təsirlənmə dolağı üçün`

$$\Delta I_f\left(x_{\sigma f}+x_{ad}\right)+\Delta I_{ld}x_{ad}+\Delta I_d x_{ad}=0; \qquad (2.9)$$

– uzununa dempfer dolağı üçün

$$\Delta I_{ld}\left(x_{\sigma ld}+x_{ad}\right)+\Delta I_f x_{ad}+\Delta I_d x_{ad}=0; \qquad (2.10)$$

burada ΔI_f – statora gətirilmiş təsirlənmə cərəyanının sıçrayışıdır*;
ΔI_{id} – statora gətirilmiş uzununa dempfer dolağındakı başlanğıc cərəyanıdır;
$x_{\sigma f}$ və $x_{\sigma ld}$ – təsirlənmə dolağının və uzununa dempfer dolağının səpələnmə reaktivlikləridir.

(2.9) və (2.10) ifadələrinin sol tərəflərini bərabərləşdirsək ΔI_f və ΔI_{id} cərəyanları arasında əlaqəni alarıq

$$\Delta I_f x_{\sigma f}=\Delta I_{ld}x_{\sigma ld}; \qquad (2.11)$$

Buradan belə nəticə görsənir ki, dolaqların səpələnməsi nə qədər az olarsa, onda induksiyalanan cərəyan bir o qədər çox olar və rotorun cavab reaksiyasının yaradılmasında onun iştraki bir o qədər çox olar. Keçid prosesinin ilkin anında iki dolağın birlikdə cavab reaksiyasını səpələnmə reaktivliyi $x_{\sigma rd}$ olan rotorun uzununa oxu üzrə bir ekvivalent dolaqdakı cərəyanın cəmindən $\Delta I_{rd}=\left(\Delta I_f+\Delta I_d\right)$yaranan analoji reaksiya ilə əvəz etmək olar. Bu zaman

$$\Delta I_{rd}\left(x_{\sigma rd}+x_{ad}\right)=\left(\Delta I_f+\Delta I_{ld}\right)\left(x_{\sigma rd}+x_{ad}\right)=-\Delta I_d x_{ad} \qquad (2.12)$$

olar.

___

*Rotor cərəyanın statora gətirilməsi S.A. Ulyanovun [2] dərsliyində yazılıb.

(2.9) və (2.11) formululları nəzərə alınmaqla (2.12) formulasından dolağın səpələnmə reaktivliyi üçün ifadəni almaq olar

$$x_{\sigma rd} = \frac{x_{\sigma f}\, x_{\sigma l d}}{x_{\sigma f} + x_{\sigma l d}}.$$

Beləliklə, rejimin qəflətən pozulması zamanı uzununa oxda sinxron maşının xarakterizə olunduğu reaktiv müqaviməti almaq üçün kifayətdir ki, x'_d (2.8) üçün ifadədə $x_{\sigma f}$ –in əvəzinə $x_{\sigma rd}$ kəmiyyətini daxil edək. Belə bir əvəz etmə edib və çevirmə aparsaq u z u n u n a i f r a t k e ç i r i c i r e a k t i v l i y i alarıq:

$$x_d^{//} = x_d - \frac{x_{ad}^2}{x_{\sigma rd} + x_{ad}} = x_\sigma + \frac{x_{\sigma rd} x_{ad}}{x_{\sigma rd} + x_{ad}} = x_\sigma + \frac{1}{\left(x_{ad}\right)^{-1} + \left(x_{\sigma f}\right)^{-1} + \left(x_{\sigma l d}\right)^{-1}}.$$

Rotorun eninə oxunda (burada ancaq dempfer dolağı vardır) e n i n ə i f r a t k e ç i r i c i r e a k t i v l i k (reaktiv müqavimət) mövcud olur:

$$x_q^{//} = x_q - \frac{x_{aq}^2}{x_{\sigma l q}} = x_\sigma + \frac{x_{\sigma l q} x_{aq}}{x_{\sigma l q} + x_{aq}}.$$

Bu reaktivliklərə uyğun EHQ-lər eninə oxda E''_q və uzununa oxda E''_d ifrat keçirici EHQ adlanırlar. Onlar, rejimin pozulmasının başlanğıc anında öz qiymətlərini dəyişməz (sabit) saxlayırlar və aşağıdakı ifadələrlə təyin olunurlar:

$$\mathbf{E}_{q0}^{//} = \mathbf{Y}_{q0} + j\mathbf{I}_{d0} x_d^{//},$$
$$\mathbf{E}_{d0}^{//} = \mathbf{U}_{d0} + j\mathbf{I}_{q0} x_q^{//},$$

burada $\mathbf{U}_{d0}$, $\mathbf{U}_{q0}$, $\mathbf{I}_{d0}$, $\mathbf{I}_{q0}$ bundan əvvəlki rejimin gərginlik və cərəyanın mürəkkəbələridirlər.

Bu səbəbdən dempfer dolaqlı aydın görünən qütblü maşın rejiminin qəflətən pozulmasının başlanğıc anında x''_d və x''_q reaktiv müqavimətləri və E''_d və E''_q

EHQ –ləri ilə xarakterizə olunur. "İfrat" önlüyü bu parametrlərin dempfer konturlarının təsirini nəzərə alındığını göstərir.

Şəkil 2.14 – də E'' EHQ – si və onun E''_d və E''_q təşkiledicilәri göstərilmişdir. E''_d və E''_q EHQ –lərini ilişmə selləri və induktiv müqavimətlərlə əlaqələndirən ifadələr [15] –də verilib.

Beləliklə, qütbləri aydın görünməyən sinxron maşın rejimin pozulmasının ilkin anında x''_d ifrat keçirici müqaviməti və E''_q EHQ ilə xarakterizə olunur.

Şəkil 2.14. Dempfer dolağı olan aydın qütblü sinxron generatorun vektor diaqramı

2.1.6. Sinxron maşının keçid prosesinin tənlikləri

Sinxron maşının keçid prosesləri aşağıda göstərilən bir sıra sadələşdirilmələr nəzərə alınmaqla diferensial tənliklər sistemi ilə ifadə oluna bilər:

1. Maşının maqnit sistemi doymayıb.
2. Maşının hava aralığında ancaq birinci harmonikanın maqnitləndirici qüvvəsi və induksiyası fəaliyyətdədir. Bu zaman statorun EHQ-si əsas tezliyin sinusoidasıdır.
3. Maşının maqnit sistemində itki yoxdur.
4. Statorun faza dolaqları simmetrikdir. Rotor özünün uzununa və eninə oxlarına nisbətən simmetrikdir.
5. Uzununa və eninə oxlarda olan dempfer dolaqları (sakitləşdirici dolaqlar) onların ekvivalentləri ilə əvəz olunmuşdur.

Dempfer dolaqğı olmayan sinxron maşına baxaq.

Aktiv müqavimətləri nəzərə alınmaqla sinxron maşının EHQ və gərginlik düşgüsünün taraz bərabərliyi (2.1) diferensial tənliyi ifadəsinə analoji (oxşar) olaraq aşağıdakı kimi yazıla bilər:

$$
\left.
\begin{aligned}
U_A &= -\frac{d\Psi_A}{dt} - ri_A, \quad & U_B &= -\frac{d\Psi_B}{dt} - ri_B \\
U_C &= -\frac{d\Psi_C}{dt} - ri_C, \quad & U_f &= -\frac{d\Psi_f}{dt} + r_f i_f
\end{aligned}
\right\}, \qquad (2.13)
$$

burada Ψ_A, Ψ_B, Ψ_C, Ψ_f – stator dolağı ilə təsirlənmə dolağının yekunlaşdırıcı ilişmə selləridir.

Ψ –nin törəməsi qarşısında olan “ – ” işarəsi Lens qaydasına müvafiq olaraq qoyulmuşdur. İşlənilən dolağın ilişmə seli, ya maqnit selinin sarğılar sayına hasili (Ψ =wF), ya da induktivlikdə maqnit selini yaradan cərəyana hasili kimi təyin oluna bilər (IL) (Əlavə 1-ə bax).

İnduktivlik (L) və qarşılıqlı induktivlik (M) vasitəsilə ilişmə seli ilə dolağın cərəyanını əlaqələndirərək aşağıdakı sistemi alarıq:

$$
\left.
\begin{aligned}
\Psi_A &= L_A i_A + M_{AB} i_B + M_{AC} i_C + M_{Af} i_f \\
\Psi_B &= L_{BA} i_A + L_B i_B + M_{BC} i_C + M_{Bf} i_f \\
\Psi_C &= M_{CA} i_A + M_{CB} i_B + L_C i_C + M_{Cf} i_f \\
\Psi_f &= M_{fA} i_A + L_{fB} i_B + M_{fC} i_C + M_f i_f
\end{aligned}
\right\}. \qquad (2.14)
$$

Burada $M_{AB} = M_{BA}$, $M_{fB} = M_{Bf}$ və s.

(2.13) sistemi dəyişən əmsallı xətti diferensial tənliklərdən ibarətdir. L_f induktivliyi istisna olmaqla (onu sabit hesab etmək olar) yerdə qalan L və M dəyişəndirlər. Onlar stator dolağına nisbətən rotorun vəziyyətindən asılıdırlar (şəkil 2.3–də $\omega t + \alpha_0$ bucağı). Statorun faza dolaqlarının maqnit oxlarının istiqamətlərini A, B və C ilə, rotor dolaqlarının d və q ilə, A fazasının maqnit oxu ilə rotorun uzununa oxu arasındakı bucağı γ ilə, rotorun bucaq sürətini ω ilə işarə edək. Təsirlənmə dolağı ilə A, B və C fazaları arasında qarşılıqlı induksiya əmsalı aşağıdakı formula ilə ifadə olunur

$$\left.\begin{aligned} M_{Af} &= M_{fA} = M_d \cos\gamma \\ M_{Bf} &= M_{fB} = M_d \cos\left(\gamma - \frac{2\pi}{3}\right) \\ M_{Cf} &= M_{fC} = M_d \cos\left(\gamma - \frac{2\pi}{3}\right) = M_d \cos\left(\gamma - \frac{4\pi}{3}\right) \end{aligned}\right\}.$$

Burada M_d – stator dolağının maqnit oxunun *d* oxu ilə üst-üstə düşməsi zamanı qarşılıqlı induksiya əmsalının maksimal qiymətidir.

Aydın qütblü rotorun fırlanması stator dolağının xüsusi və qarşılıqlı induktivliyinin dəyişməsini təyin edir. Bu zaman həmin induktivliyi təyin edən maqnit selinin müqaviməti fasiləsiz olaraq dəyişir. Maqnit sellərinin dəyişməsi harmonik olaraq π periodu ilə baş verir, yəni iki dəfə az. Ona görə ki, rotorun π qədər dönməsi zamanı maqnit müqavimətinin dəyişməsinin bundan əvvəlki sikli təkrar olunur. Praktiki hesabatlarda bütün cüt harmonikaları nəzərdən ataraq, induktivliyin təqribi hesablanması ilə kifayətlənirlər. A fazası dolağının xüsusi induktivliyi aşağıdakı kimi təyin olunur:

$$L_A = l_0 + l_2 \cos 2\gamma. \qquad (2.15)$$

A və B fazaları arasında qarşılıqlı induktivlik aşağıdakı formula ilə hesablanır

$$M_{AB} = m_0 + m_2 \cos 2(\gamma - \frac{\pi}{3}). \qquad (2.16)$$

(2.15) və (2.16) –dakı əmsalları sinxron maşının induktivliyi vasitəsilə ifadə etmək olar [10]. Nisbi vahidlərdə bu ifadə aşağıdakı səkildə olar

$$l_o = \frac{1}{3}\left(L_d + L_q + L_0\right), \quad l_2 = m_2 = \frac{1}{3}\left(L_d - L_q\right),$$

$$m_o = \frac{1}{3}\left(L_0 - \frac{L_d + L_q}{2}\right).$$

(2.13) diferensial tənliklər sisteminin həlli müəyyən qədər çətinliklərlə əlaqədardır. Odur ki, onun sadələşdirilməsi üçün qiymətləri (2.13) və (2.14) –də ifadə olunan *A*, *B*, *C* koordinat sisteminin, rotorla sərt əlaqəli olan *d*, *q*, 0, yeni

koordinat sistemi ilə əvəz olunmasına əl atırlar. Bu koordinat sistemindən artıq yuxarıda, vektor diaqramının qurulmasında istifadə olunmuşdur. Ondan istifadə (2.13) formulundakı dəyişən parametrlərdən azad olmağa imkan yaradır.

Gərginliyin, cərəyanın və ilişmə selinin faza kəmiyyətləri, statorun faza dolaqlarının maqnit oxuna müvafiq ümumiləşdirilmiş vektorların proyeksiyası kimi ifadə olunur (şəkil 2.15). Bu zaman ümumiləşdirilmiş vektorların *A, B, C* və *d, q,* 0 sisteminin koordinat oxlarına proyeksiyaları arasında əlaqə aşağıdakı kimi ifadə oluna bilər:

$$\left.\begin{aligned} U_A &= U_{dA} + U_{qA} = U_d \cos\alpha + U_q \sin\alpha \\ U_B &= U_{dB} + U_{qB} = U_d \cos\left(\alpha - 120^0\right) + U_q \sin\left(\alpha - 120^0\right) \\ U_C &= U_{dC} + U_{qC} = U_d \cos\left(\alpha - 240^0\right) + U_q \sin\left(\alpha - 240^0\right) \end{aligned}\right\}, \qquad (2.17)$$

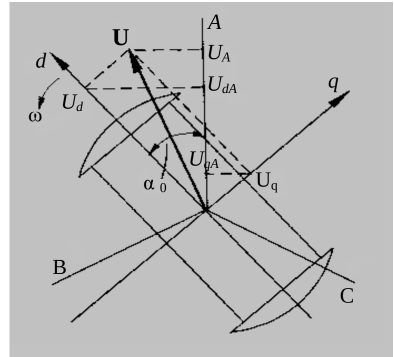
burada $\alpha = \omega t + \alpha_0$. Ümumiləşdirilmiş vektorla

$$f_A + f_B + f_C = 0$$

şərtinə riayət olunam zaman istənilən fazanın dəyişən kəmiyyətləri f_A, f_B, f_C –ni xarakterizə etmək olar.

Əgər faza dəyişənlərinin cəmi sıfıra bərabər olmazsa, onda onu üçüncü dəyişən f_0 vasitəsilə aşağıdakı kimi, ifadə etmək məqsədəuyğundur

$$f_A + f_B + f_C = 3f_0$$



Şəkil 2.15. A, B, C və *d, q, 0* koordinat sistemlərinin əlaqəsi

buradan

$$f_0 = \frac{1}{3}\left(f_A + f_B + f_C\right) \qquad (2.18)$$

olar.

f_0 mürəkkəbəsi sıfırıncı adlanır, baxılan fiziki kəmiyyətin ani faza qiyməti ilə təyin olunur və onun zamana görə dəyişməsi istənilən qanun üzrə baş verə bilər.

Sıfır mürəkkəbəsi f_0 bütün fazalarda eyni olduğundan o, nə ümumiləşdirilmiş vektora, nə də onun *d* və *q* –yə proyeksiyasına təsir etmir.

(2.13) diferensial tənliyində faza dəyişənlərini onların *d*, *q*, 0 koordinatlarında mürəkkəbələri ilə əvəz etməklə tənlikdə çevirmə aparaq.

(2.17) –yə müvafiq olaraq (2.18) –i nəzərə almaqla yeni dəyişənlər vasitəsilə A fazasının cərəyanını, gərginliyini və ilişmə selini ifadə edək:

$$i_A = i_d \cos\alpha + i_q \sin\alpha + i_0,$$

$$U_A = U_d \cos\alpha + U_q \sin\alpha + U_0 ,$$

$$\psi_A = \psi_d \cos\alpha \ + \psi_q \sin\alpha + \psi_0 .$$

Bu ifadələri (2.13) –də yerinə yazaraq və Ψ_d, Ψ_q və α –nın zamanın funksiyası olduğunu nəzərə alaraq, diferensiallanma zamanı aşağıdakı ifadəni alarıq

$$U_d \cos\alpha + U_q \sin\alpha + U_o = -\frac{d}{dt}(\psi_d \cos\alpha + \psi_q \sin\alpha + \psi_0) -$$
$$- r(i_d \cos\alpha + i_q \sin\alpha + i_o) = -\frac{d\psi_d}{dt}\cos\alpha + \psi_d \sin\alpha \frac{d\alpha}{dt} -$$
$$-\frac{d\psi_q}{dt}\sin\alpha - \psi_q \cos\alpha \frac{d\alpha}{dt} - \frac{d\psi_0}{dt} - ri_d \cos\alpha - ri_q \sin\alpha - ri_0.$$

Toplananları qruplaşdırdıqdan sonar bu ifadəni aşağıdakı şəkildə vermək olar

$$\left(U_d + \frac{d\psi_d}{dt} + \Psi_q \frac{d\alpha}{dt} + ri_d\right)\cos\alpha + \left(U_q + \frac{d\Psi_q}{dt} - \Psi_d \frac{d\alpha}{dt} + ri_q\right)\sin\alpha + \qquad (2.19)$$
$$+\left(U_0 + \frac{d\psi_0}{dt} + ri_o\right) = 0.$$

(2.19) bərabərliyi α –nin istənilən qiyməti zamanı təmin olunmalıdır. Bu ancaq o şərt daxilində mümkündür ki, mötərəzəyə alınmış hər bir ifadə əsasən sıfıra bərabər olsun. Buna görə də bu bərabərlik üç bərabərliyə bölünür:

$$U_d = -\frac{d\psi_d}{dt} - \Psi_q \frac{d\alpha}{dt} - ri_d, \qquad (2.20)$$

$$U_q = -\frac{d\psi_q}{dt} + \Psi_d \frac{d\alpha}{dt} - ri_q, \qquad (2.21)$$

$$U_0 = -\frac{d\psi_0}{dt} - ri_0. \qquad (2.22)$$

Digər iki fazalar üçün də ifadələri buna oxşar yazmaq olar. Təsirlənmə dolağı üçün bərabərlik (2.13) olduğu kimi qalacaqdır. (2.20), (2.21) formulalarında Ψ_d və Ψ_q ilişmə selləri (2.4) və (2.6) ifadələri üzrə, Ψ_0 isə aşağıdakı kimi təyin olunurlar

$$\Psi_0 = L_0 l_0 = x_0 l_0,$$

burada x_0 – maşının sıfır ardıcıllıqlı induktiv müqavimətidir.

Beləliklə *d*, *q*, 0 koordinatlarında yeni dəyişənlərə keçmək sabit əmsallı deferensial tənliklər sistemini almağa imkan verdi.

(2.20) – (2.22) tənlikləri sinxron maşının iki reaksiyasının nəzəri əsaslarını təşkil edir və P a r k Q o r e v t ə n l i k l ə r i adlanır. Bu tənliklərin birinci toplananları t r a n s f o r m a s i y a EHQ –ni göstərir. Ona görə ki, onlar müvafiq ilişmə sellərinin qiymətinin dəyişməsi ilə təyin olunurlar. İkinci toplananlar – f ı r l a n m a EHQ –dir və rotorun fırlanma sürəti ilə təyin olunurlar. Normal rejimdə fırlanma EHQ –si olmur.

Bir sıra hallarda keçid proseslərinin hesabatının sadələşdirilməsi məqsədəuyğun hesab olunur. Bunun üçün Park – Qorev tənliklərinin sadələşdirilmiş formasından istifadə olunur. Aperiodik cərəyanları və aktiv müqavimətləri nəzərə almayaraq, həmçinin rotorda yırğalanma olmadığını (s = 0) fərz etsək, (2.20) – (2.22) ifadələrindən istifadə etməklə tənliklərin sadələşdilimiş formasını yaza bilərik:

$$U_d = -\Psi_q, \quad U_q = \Psi_d$$

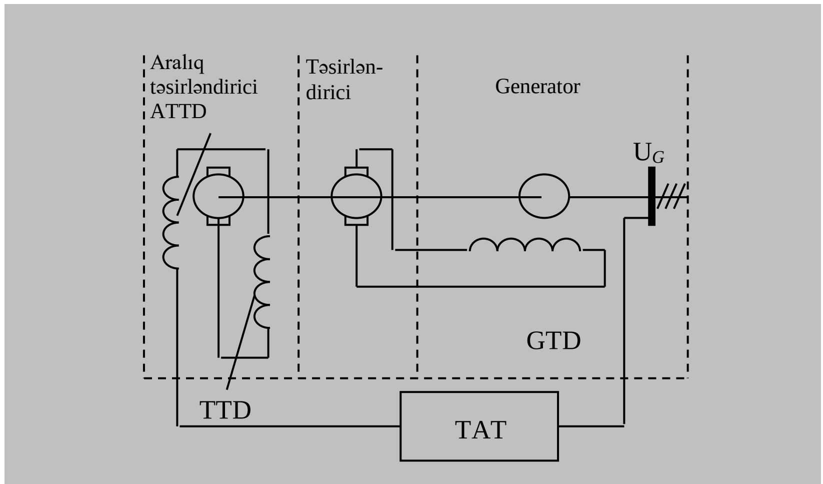
bu tənliklər Lebedev – Jdanov tənlikləri adlanır.

Strukturlarına görə bu tənliklər simmetrik qərarlaşmış rejimlər üçün olan tənliklərdən heç nə ilə fərqlənmirlər. Amma keçid proseslərində bu tənliklərə daxil olan gərginlik və ilişmə selləri – dəyişən kəmiyyətlərdir.

2.1.7. Sinxron maşının təsirlənmə sistemi və təsirlənmə cərəyanının avtomatik tənzimlənməsi

Təsirlənmə sistemi – təsirlənmə cərəyanını yaratmaq və tənzimlənmə qurğusunun köməyi ilə onları idarə etmək üçün olan maşın və aparatlardır. Bəzən təsirlənmə sistemini və cərəyanın avtomatik tənzimlənməsini vahid bir qurğuda birləşdirirlər və onu təsirlənmə sistemi (TS) adlandırırlar. Təsirlənmə sistemi keçid prosesinin xarakterinə olduqca böyük təsir edə bilər.

Sinxron generatorun təsirlənmə sistemi adətən təsirləndiricisindən və tənzimləyici qurğudan ibarət olur. Elektrik maşın təsirləndiricisi ilə olan təsirləndirmə sisteminin sadələşdirilmiş sxemi şəkil 2.16 –da göstərilib.



Şəkil 2.16. Təsirlənmə sisteminin sadələşdirilmiş sxemi:
GTD – generatorların təsirlənmə dolağı; TTD – təsirləndiricinin təsirlənmə dolağı; ATTD – aralıq təsirləndiricinin təsirlənmə dolağı, TAT – təsirlənmənin avtomatik tənzimləyicisi

Təsirlənmə sisteminin prinsipial sxemləri bir – birindən aşağıdakılarla fərqlənirlər: 1) təsirləndiricinin konstruktiv cəhətdən icra olunmasına görə; 2) təsirləndiricinin növünə görə - özünətəsirlənən və ya müstəqil təsirlənən. Təsirləndiriciləri elektrikmaşın (fırlanan elektrik maşını olan), statik (fırlanan elektrik maşını olmayan) və kombinasiya olunmuş təsirləndiricilərə bölmək olar.

Təsirləndiricinin özünətəsirlənməsi halında onun təsirlənmə dolağı təsirləndiricinin özünün kollektor fırçalarından qidalanır. Müstəqil təsirlənmə ilə

olan elektrikmaşın təsirləndiricisi halında isə təsirləndiricinin dolağı kənar mənbədən qidalandırılır. Belə qidalanma mənbəyi üçün adətən özünətəsirlənən sabit cərəyan maşını olan aralıq təsirləndiricidən istifadə olunur.

Özünətəsirlənmə və müstəqil təsirlənmə ilə olan təsirlənmə sistemlərinin sxemləri [2, şəkil 8.2 və 8.4] –də verilib.

Hazırda, tiristorlu və fırçasız TS –lərdən istifadə olunur [2, 17] və elektrikmaşın təsirləndiriciləri demək olar ki, istehsaldan çıxarılıb.

Təsirlənmənin avtomatik tənzimləyicisi (TAT) tənzimlənməni fasilələrlə yerinə yetirən q e y r i – h ə s s a s l ı q z o n a l ı və tənzimlənməni fasiləsiz yerinə yetirən q e y r i – h ə s s a s l ı q z o n a s ı z tənzimləyicilərə bölünürlər. Aşağıda göstərilən tənzimləyicilər vardır:

1) M ü t ə n a s i b (p r o p o r s i o n a l) t ə s i r l i, bu tənzimləmə cərəyanını rejimin hər hansı bir parametrinin (məs., gərginliyin) dəyişməsinə mütənasib dəyişdirir;
2) c ə l d t ə s i r l i, bu yalnız dəyişmələrin (meyletmələrin) qiymətinə deyil, həmçinin onların sürət və təcilinə də reaksiya verir.

Proporsional təsirli TAT sinxron generatorların iki növ kompaunlaşdırılmasına əsaslanır:

– cərəyanla kompaunlaşdırılma, təsirlənmə cərəyanının onun yük cərəyanından asılılığını təmin edən;
– faza üzrə kompaunlaşdırılma, təsirlənmə cərəyanının yük cərəyanının qiymətindən və onun generatorun gərginliyinə nisbətən faza sürüşməsindən asılılığını təmin edən [17].

Qəza zamanı sinxron maşınların işinin etibarlılığının təmin edilmə üsullarından biri və effektivlisi təsirlənmə cərəyanının tez bir zamanda artırılması – t ə s i r l ə n m ə n i n s ü r ə t l ə n d i r i l m ə s i d i r (gücləndirilməsidir). Təsirlənmənin sürətləndirilməsinin fiziki mahiyyətini aydınlaşdırmaq üçün özünətəsirlənən elektrikmaşın təsirləndiricinin sxeminə baxaq (şəkil 2.17).

Gərginliyin müəyyən olunmuş səviyyədən (80...90%) U_{nom} –a azaldılması zamanı ölçmə elementinin (ÖE) çıxışından siqnal (şəkil 2.17, *a*) kontaktorun dövrəsini qapayır, kontaktor isə təsirləndiricinin təsirlənmə dövrəsinin reostatını qısa qapayır.

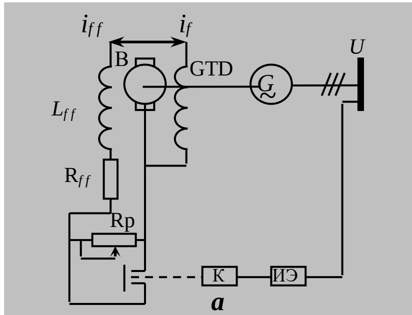
Təsirləndiricinin lövbərinin müqaviməti kiçik olduğuna görə, təsirləndiricinin yüksüz işləmə cərəyanını onun yük xarakteristikası hesab etmək olar.(şəkil 2.17, *b*). Təsirləndiricinin rejim parametrləri (U_{f0} , i_{ff0}) yüksüz işləmə xarakteristikası və $U_f = i_{ff}(R_{ff} + R_r)$ düsturu ilə ifadə olunan düz xəttin kəsişmə nöqtəsi ilə təyin olunur, burada R_{ff} və R_r – müvafiq olaraq təsirləndiricinin təsirlənmə dolağının və reostatın aktiv müqavimətləridir. Reostatın uclarının qısaqapanması zamanı təsirləndiricinin yeni rejim parametrləri $U_f = i_{ff} R_{ff}$ düz xəttinin yüksüz işləmə xarakteristikasının kəsişmə nöqtəsi ilə təyin olunur (*c* nöqtəsi). Bu nöqtə təsirlədiricinin gərginliyinin son həddini təyin edir, başqa

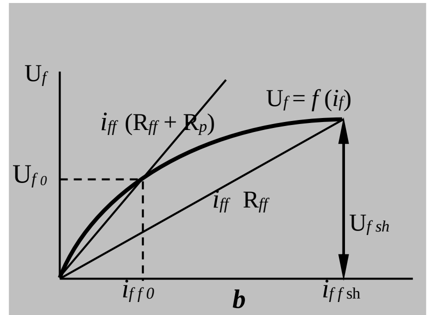
sözlə bu son hədd – maksimal təsirlənmə adlanır. Təsirlənmənin sürətləndirilməsi zamanı təsirləndiricinin gərginliyinin zamanından asılı olaraq dəyişməsi (şəkil 2.17, *c*)

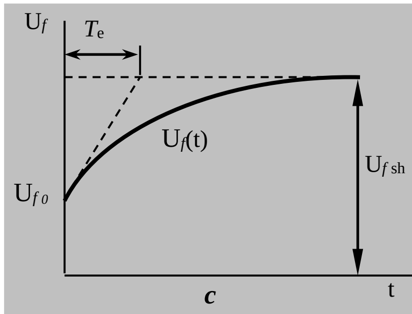
$$U_f = U_{f0} + (U_{fsh} - U_{f0})(1 - e^{-\frac{t}{Te}})$$

tənliyi ilə ifadə olunan eksponensial asılılıqdır.

Burada: T_e – təsirləndiricinin təsirlənmə dolağının zaman sabiti; U_{fsh} – təsirləndiricinin gərginliyinin son hədd qiymətidir.







Şəkil 2.17. Sinxron maşının təsirlənməsinin sürətləndirilməsi sxemi və qrafikləri: *a* – prinsipial sxemi; *b* – təsirləndiricinin əsas xarakteristikaları; *c* – $U_f(t)$ asılılığı.

Təsirlənmə sürətləndirilməsi zamanı təsirlənmə sisteminə qoyulan mühüm (vacib) tələblər aşağıdakılardır:

1. *Cəldtəsirliyin vacibliyi*, yəni rotorun dolağında gərginliyin nominaldan son hədd qiymətinə qədər yüksəldilmə prosesində o, yüksək sürətlə artırılmalıdır. Bu tələb təsirləndiricinin ətalətliyi (inersiyalığı) ilə əlaqədardır. Gərginliyinin artırılma sürəti – təsirlənmə dolağının zaman sabitinin (T_e) və təsirlənmənin son həddinin qiymətləri ilə təyin olunur.

2. *Təsirlənmənin sürətləndirilməsinin dəfəliyi,* rotorda gərginliyin son hədd qiymətinin nominala olan nisbəti ilə təyin olunur. Elektrikmaşın sistemləri üçün o, rotorun son hədd cərəyanının dəfəliyinə uyğundur. Cəldtəsirlik və sürətləndirmənin dəfəliyinə gtörə daha müasir və effektiv üsul, idarəedilən tiristorlu düzləndiricidən istifadə etməklə hazırlanan t i r i s t o r l u t ə s i r l ə n m ə s i s t e m i d i r [18]. Belə sistemlər praktiki olaraq ətalətli deyil ($T_e \approx 0{,}02$ san) və sürətləndirmə zamanı təsirlənmə gərginliyinin sıçrayışla artmasını təmin edir. Tiristorlu sistemdə təsirlənmə həddinin dörd dəfəliyini (və daha çox) asanlıqla əldə etmək olur ki, bu rotorun cərəyanının ikiqat qiymətə qədər artırılmasını sürətləndirməyə imkan verir. Bumdan sonra sürətləndirmənin göstərilən qiymətini məhdudlaşdıran qurğu təsir etməyə başlayır.Təsirlənmənin tiristor sistemini idarə etmək üçün r ə q ə m l i v ə a n a l o q – r ə q ə m l i s i s t e m l ə r mövcuddur. Belə sistemlər tənzimləyicinin cəldtəsirliyini artırmağa imkan verir, həmçinin normal, qəza və qəzadan sonrakı rejimlərdə aqreqatorların kompleks avtomatik idarə olunmasını həyata keçirir. Rəqəmli sistemin bazasında cəldtəsirli tənzimləyicilər hazırlanır ki, onlar praktiki olaraq generatorun sıxaclarında gərginliyin sabit saxlanılmasını təmin edir.

2.1.8. Maqnit sahəsinin söndürülməsi

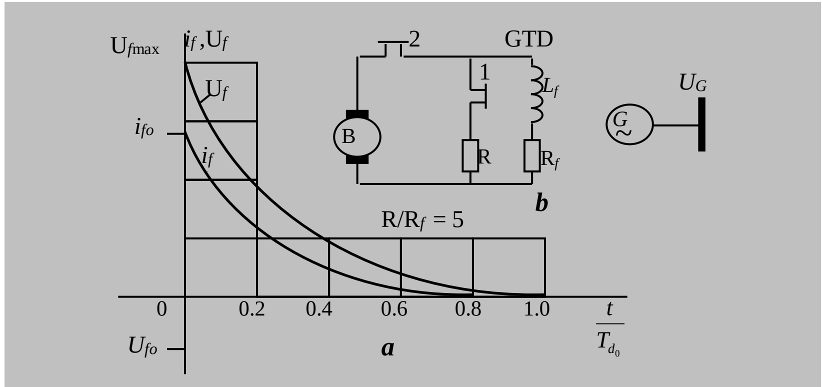
Elektrik maşının daxili zədələnməsi zamanı maşının cərəyanının azaldılması üçün yeganə vasitə onun təsirlənməsinin kəsilməsi, başqa sözlə desək onun maqnit sahəsini söndürülməsidir. Bu məsələnin mürıkkəbliyi təsirlənmə dolağında böyük miqdarda elektromaqnit enerjisi ehtiyyatının olması ilə əlaqədardır. Təsirlənmə dövrəsini qırmaq təhlükəlidir, çünki bu zaman yaranan ifrat gərginlik dolağın izolyasiyanın deşilməsinə səbəb ola bilər. Ona görə də sahənin söndürülməsi təsirlənmə dolağının boşaldıcı adlanan aktiv müqavimətə (əks istiqamətlənmiş EHQ – yə) çevirməklə (avtomatik çevirgəc qurğusu) həyata keçirilir. Bu əməliyyatı yerinə yetirən aparat sahə söndürən avtomat (SSA) adlanır.

Sahə söndürən avtomatın prinsipial sxemi şəkil 2.18 b - də verilib. Normal rejimdə 2 kontaktları qapalı, 1 kontaktları isə açıq olur. Təsirlənmə dolağının sahəsinin söndürmək üçün əvvəlcə 1 kontaktları qapanır, sonra isə 2 kontaktları aralanır. Dempfer dolağı nəzərə alınmamaqla və statorun açıq vəziyyətində, təsirlənmə dolağında cərəyan açağıdakı ifadəyə müvafiq olaraq sönəcəkdir:

$$I_f = i_{f0} e^{-t/T_{sön}},$$

burada $T_{sön} = L_f / (R_f + R) = T_{do}(1 + R/R_f)^{-1}$. Təsirlənmə dolağındakı U_f gərginliyi i_f cərəyanına mütənasibdir. 1 və 2 kontaktlarının hərəkətlərinin eyni zamanda olmasını qəbul etmək olar. O zaman təsirlənmə dolağında gərginlik maksimal qiymətinə t = 0 anında çatacaq

$$U_{f\,\max} = U_{f0}\frac{R}{R_f}.$$

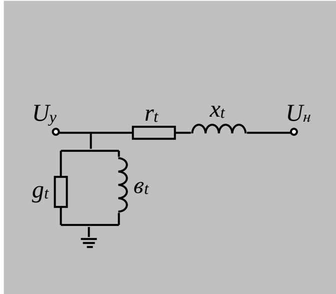


Şəkil 2.18. Sinxron maşının sahəsinin söndürülməsi: *a* – Təsirlənmə dolağının gərginlik və cərəyan əyriləri; *b* – SSA –nin prinsipial sxemi

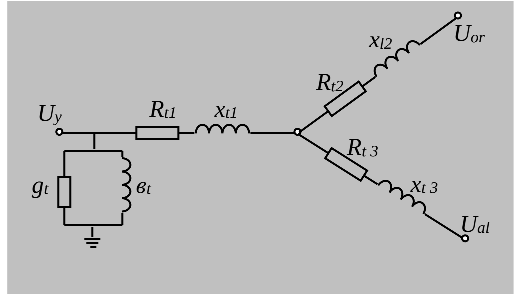
Sahənin söndürülməsini sürətləndirmək üçün boşaldıcı müqavimət *R*–i artırmaq lazımdır. Lakin, gərginliyin artmasının yol verilən şərtinə görə *R*–in qiymətini 3-dən 5R_f -ə qədər həddində seçirlər. Əgər boşalma müqaviməti əvəzinə qeyri - xətti müqavimət qoşsaq, hansının kı, müqaviməti ondan axan cərəyana tərs mütənasibdir, proses xətti qanun üzrə gedəcək və sahənin söndürülməsi sürətlənəcək. Müasir SSA belə müqavimət rolunu avtomatın qövssöndürücü (deionlaşdırma) reşotkasında yaranan elektrik qövsü yerinə yetirir. Qövsssöndürücü reşotkanın qoşulma sxemləri
[2, səh. 182]-də verilib.

2.2. TRANSFORMATORLAR VƏ AVTOTRANSFORMATORLAR

Elektrik təşhizatı sisteminin əvəz sxemlərində ikidolaqlı transformatorlar "Г" – şəkilli sxemlə (şəkil 2.19), üçdolaqlı transformatorlar və avtotransformatorlar isə üç şualı ulduz (şəkil 2.20) şəkilli sxemlə təqdim olunurlar. Maqnitləndirmə budağı yüksək gərginlikli tərəfə aiddir.



Şəkil 2.19. İki dolaqlı transformatorun əvəz sxemi



Şəkil 2.20. Üç dolaqlı transformatorun əvəz sxemi

Transformatorun əvəz sxeminin parametrlərini təyin etmək üçün aşağıda verilən ilkin məlumatlardan istifadə olunur:

1) nominal güc S_{nom};
2) işçi budaqlanmalar göstərilməklə nominal gərginliklər (məsələn, $U_{nom} \pm\ 2{,}5\%$);
3) qısaqapanma itkisi ΔP_{qq};
4) yüksüz işləmə itkisi ΔP_{yi};
5) maqnitləndirmə cərəyanı $\dot{I}_{yi}$;
6) reaktiv müqavimət və ya qısaqapanma gərginliyi;
7) yerləbirləşdirilmiş sıfır nöqtəsi göstərilməklə transformatorun dolaqlarının birləşmə sxemləri.

İkidolaqlı transformatorun əvəz sxeminin parametrləri açağıdakı kimi təyin olunur:

– reaktiv müqaviməti (Om)

$$X_t = \frac{U_q\,\%}{100}\frac{U_{nom}^2}{S_{nom}},$$

– aktiv müqaviməti (Om)

$$r_t = \frac{\Delta P_{qq}}{S_{nom}} \frac{U_{nom}^2}{S_{nom}},$$

– aktiv keçiricilik (S)

$$g_t = \frac{\Delta P_{yi}}{U_{nom}^2},$$

– reaktiv keçiricilik (S)

$$b_t = \frac{I_{yi}}{100} \frac{S_{nom}}{U_{nom}^2}.$$

Burada U_{nom} – fazalararası nominal gərginlik, kV;
S_{nom} – üçfazalı yaxud birfazalı transformatorlar qrupundan ibarətt üçfazalı transformatorun nominal gücü, MVA;
U_{qq} – QQ gərginliyi, %;
$\Delta P_{q.q.}$ – QQ itkisi (transformatorun üç fazasının misindəki itkidir), MVt;
I_{yi} – transformatorun yüksüz işləmə cərəyanıdır, %.

Üçdolaqlı transformatorların və avtotransformatorların induktiv müqavimətlər aşağıdakı formulalarla təyin olunur

$$x_{t1} = x_y = \frac{U_{qq(y-or)} + U_{qq(y-a\ell)} U_{qq(or-a\ell)}}{2} \frac{U_{nom}^2}{100 S_{nom}},$$

$$x_{t2} = x_{or} = \frac{U_{qq(y-or)} + U_{qq(or-a\ell)} U_{qq(y-a\ell)}}{2} \frac{U_{nom}^2}{100 S_{nom}},$$

$$x_{t3} = x_{a\ell} = \frac{U_{qq(y-a\ell)} + U_{qq(or-a\ell)} - U_{qq(y-or)}}{2} \frac{U_{nom}^2}{100 S_{nom}}.$$

Əgər qısaqapanma gərginliklərinin $\left(U_{qq(y-or)}, U_{qq(or-a\ell)}, U_{qq(y-a\ell)}\right)$ qiymətləri transformatorun tipik gücünə – S_{tip} aid edilibsə, onda

$$U_{qq(y-a\ell)T} = U_{qq(y-a\ell)} \frac{S_{nom}}{S_{tip}}, \quad U_{qq(or-a\ell)T} = U_{qq(or-a\ell)} \frac{S_{nom}}{S_{tip}}.$$

Aktiv müqavimət ΔP_{qq}–nin hansı şəkildə verilməsindən asılıdır. Əgər cüt dolaqlar arasında QQ itkisinin bütün qiymətləri verilmiş olarsa, o zaman onlar əvvəlcə nominal gücə gətirilir. Ona görə ki, istehsalçı – zavod adətən bu qiymətləri tarnsformatorun aşağı güclü dolağına və ya avtotransformatorun tipik gücünə aid olunduğunu xəbər verir və aşağıdakı formula ilə hesablanır

$$\Delta P_{qq} = \Delta P_{qq}^{/} \frac{S_{nom}}{S_{tip}}.$$

Bundan sonra aktiv müqavimətlər təyin olunur:

$$r_{t1} = r_y = \frac{\Delta P_{qq(y-a\ell)} + \Delta P_{qq(y-or)} - \Delta P_{qq(or-a\ell)}}{2S_{a\ell}} \frac{U_{nom}^2}{S_{nom}},$$

$$r_{t2} = r_{or} = \frac{\Delta P_{qq(y-or)} + \Delta P_{qq(or-al)} - \Delta P_{qq(y-a\ell)}}{2S_{a\ell}} \frac{U_{nom}^2}{S_{nom}},$$

$$r_{t3} = r_{a\ell} = \frac{U_{qq(y-a\ell)} + U_{qq(or-a\ell)} - U_{qq(y-or)}}{2S_{a\ell}} \frac{U_{nom}^2}{S_{nom}}.$$

Əgər kataloqun məlumatlarında QQ itkisinin ancaq maksimal qiyməti göstərilmişdirsə, o zaman üçdolaqlı transformatorun aktiv müqavimətləri aşağıdakı kimi təyin olunur:

– dolaqların gücləri bərabər olduğu zaman

$$r_{t(100\%)} = \frac{\Delta P_{qq}}{2S_{nom}} \frac{U_{nom}^2}{S_{nom}};$$

– bir dolağının gücü, yerdə qalan iki dolağın gücünün 66,7% -ni təşkil etdiyi hal üçün

$$r_{t(66.7\%)} = 1.5 r_{t(100\%)}.$$

– iki dolağının gücü, yerdə qalan üçüncü dolağın gücünün 66,7% -ni təşkil etdiyi hal üçün

$$r_{t(100\%)} = \frac{\Delta P_{qq} U^2_{nom}}{1.83 S_{nom}}; \quad r_{t(66.7\%)} = 1.5 r_{t(100\%)}.$$

Avtotransformatorun neytralına gərginlikəlavəedici transformator qoşulmuş olduğu zaman, əvəz sxemi və onun parametrlərinin hesabatı yuxarıda verilənlərdən fərqlənir [4, səh. 25]. Elektrik təchizatı sistemində bəzən yuxarıda göstərilənlərdən konstruktiv xüsusiyyətləri ilə fərqlənən transformatorlardan istifadə olunur, məsələn:

– alçaq dolağı hissələrə bölünmüş (ayrılmş) ikidolaqlı tarnsformator;
– alçaq dolağı hissələrə bölünmüş (parçalanmış) birfazalı üçdolaqlı tarnsformator;
– dörddolaqlı tarnsformator.

Belə transformatorların əvəz sxemi və parametrlərinin hesabatı [12, səh. 29] –da verilib.

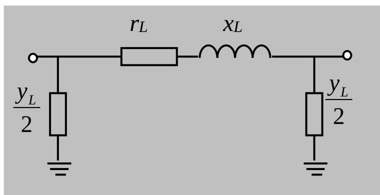
Elektrik sistemlərinin QQ cərəyanlarının və dayanıqlığının hesabatı zamanı əvəz sxeminin bəzi parametrləri (aktiv müqavimət, budağın maqnitlənmə müqaviməti) nəzərə alınmaya bilər (3.1 bölməsinə bax).

2.3. ELEKTRİK VERİLİŞ XƏTLƏRİ

Uzunluğu 300 km-dən az olan elektrik veriliş xətləri üçün П – şəkilli əvəz sxemi istifadə olunur (şəkil 2.21). Əvəz sxeminin parametrləri aşağıdakı kimi təyin olunur:

$$r_L = r_0 l, \quad x_L = x_0 l, \quad y_L = b_0 l,$$

burada l – xəttinin uzunluğu; r_o, x_o, b_o – vahid uzunluq üzrə xəttin müqavimətləri və keçiriciliyidir.



Şəkil 2.21. Elektrik verilişi xəttinin əvəz sxemi

Bu parametrlərin təyini üçün aşağıda göstərilən ilkin məlumatlar olmalıdır: xəttin nominal gərginliyi, xəttin dövrələrinin sayı, naqilin markası və en kəsiyi, dolaqda naqillərin yerləşməsi və naqillər arasındakı məsafə.

Xəttin uzunluğu 300 –dən 1000km–ə olduqda parametrlər aşağıdakı kimi təyin olunur:

$$X_L = k_x x_0 l, \quad r_L = k_r r_0 l, \quad y_L = k_y b_0 l,$$

burada k_x, k_r, k_y – xəttin uzunluğu boyunca parametrlərin bərabər paylanmasını nəzərə olan təshih əmsallarıdır və aşağıdakı formulalarla hesablanır

$$k_r = 1 - \frac{l^2}{3} x_0 b_0, \quad k_x = 1 - \frac{l^2}{6}\left(x_0 b_0 - r_0^2 \frac{b_0}{x_0} \right), \quad k_y = 0.5 \frac{3 + k_R}{1 + k_R}.$$

Xəttin uzunluğu 1000km –dən çox olduğu zaman əvəz sxeminin parametrləri kompleks düzəliş əmsallarını nəzərə almaqla təyin olunur:

$$\mathbf{Z}_L = \mathbf{k}_Z \mathbf{Z}_0 l, \quad \mathbf{y}_L = \mathbf{k}_y \mathbf{y}_0 l,$$

burada $\mathbf{Z}_0$, $\mathbf{y}_0$ – müvafiq olaraq xəttin kompleks müqavimətinin və keçiriciliyinin vahid uzunluq üzrə qiymətləridir.

Əmsallar $\mathbf{k}_z$ və $\mathbf{k}_y$ açağıdakı kimi təyin olunur:

$$\mathbf{k}_Z = \frac{sh(\gamma_0 l)}{\gamma_0}, \quad \mathbf{k}_y = \frac{th[(\gamma_0 l)/2l]}{(\gamma_0 l)/2}$$

($\boldsymbol{\gamma}_0 = \sqrt{\mathbf{Z}_0 \mathbf{y}_0}$ - dalğanın yayılma əmsalıdır).

Uzun xətti (1000km və ondan çox) olan elektrik veriliş xəttinddə keçid prosesləri üçün prosesin xarakteri xəttin parametrlərindən asılıdır [9]. Bu halda uzun xətt dördqütblü kimi verilir. Belə dördqütblünün parametrlərinin təyin olunması 9.9 bölməsində verilib.

2.4. YÜK

Yük – elektrik enerjisini başqa növə (istiliyə, mexanikiyə, işıqlanmaya və s.) çevirən istehlakçılardır.

Adətən ayrı – ayrı yüklərə yox, yarımstansiyanın şininə birləşdirilən onun qovşağına – yüklər qrupuna baxılır. Buna aid, nümunə kimi, 35 kV –luq şindən qidalanan yük qovşağının təqribi sxemi şəkil 3.2 –də verilib. Yük qovşağının tərkibinə asinxron və sinxron mühərriklərdən, işıqlanma və istilik elektrik qızdırıcılardan başqa sinxron kompensatorlar, kiçik elektrik stansiyaları və s. kimi yüklər də daxil ola bilərlər.

Şəhər yüklərinin orta tərkibi

İstehlakçı	İstehlakçıların payı
Asinxron mühərriklər	48
İşıqlanma	25
Sobalar və qızdırıcı cıhazlar	10
Sinxron mühərriklər	10
Şəbəkədəki itkilər	7

İstehlakçıların tərkibi elektrik təchizatı rayonundan asılı olaraq geniş həddə dəyişə bilər. Elektrik sisteminin sxemlərində keçid proseslərinin hesabatında yüklərin göstərilməsi hesabatın məqsədi və onun dəqiqliyi ilə təyin olunur.Yüklərin hesabatlarda təqdim olunmalarının bir neçə üsulu mövcüddur:

1. *Sabit müqavimətlə və ya keçiriciliklə*, statik və ya dinamik dayanıqlığın sadələşdirilmiş hesabatlarında (yükün özünün dayanıqlığının saxlanılması şərti ilə).

Ardıcıl birləşdirilmiş aktiv və reaktiv müqavimətlər sabit müqavimətlərin Z_{al} –in hesabatı aşağıdakı kimi yerinə yetirilir:

$$Z_y = r_y + jx_y = \frac{U^2}{S_y}(\cos\varphi_y + j\sin\varphi_y), \qquad (2.23)$$

burada φ_y – yükün güc əmsalı,

S_y – yükün zahiri işçi gücüdür $\left(S_y = P_y + jQ_y = U\hat{I}_y\right)$ (əlavə 2.4).

Yükün belə göstərilməsindən analitik hesabatlar zamanı istifadə olunur. Əgər yükün qoşulduğu düyün nöqtəsinin (qovşağın) gərginliyi məlum olmasa, onda (2.23) ifadəsində onun yerinə nominal yaxud orta gərginlik qoyulur.

Bəzi hallarda, məsələn dəyişən cərəyanın modellərindən istifadə olunan zaman yükün paralel birləşdirilmiş aktiv və reaktiv müqavimətlər kimi göstərilməsi daha əlverişli olur:

$$r_y = \frac{U^2}{P_y}, \qquad x_y = \frac{U^2}{Q_y}.$$

2. *Sabit gərginliklə* x_y= 1.2, qısaqapanmanın qərarlaşmış rejiminin hesabat zamanı. Yükün müqaviməti nominal gücə və gərginliyə gətirilib.

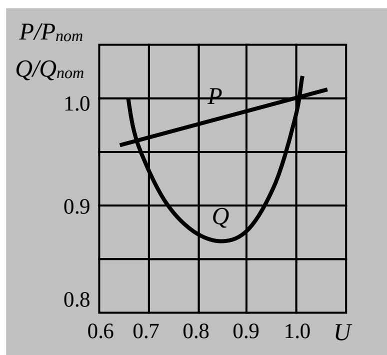
3. *Yükün EHQ –si* E' = 0.85 x_y = 0.35 *müqaviməti ilə,* QQ cərəyanın başlanğıc qiymətinin hesabatı zamanı. Yükün EHQ –si və onun müqaviməti nominal güc və gərginliyə gətirilib.

4. *Gərginlik* $\left(P_y = \Psi_1(U), Q_y = \Psi_2(f)\right)$ *və tezliyə* $\left(P_y = \varphi_1(U), Q_y = \varphi_2(f)\right)$ *görə, statik xarakteristikalar iləa* yükün yaxud qəzadan sonrakı rejimdə sistemin dayanıqlığının hesabatında.

Gərginlik üzrə yükün statik xarakteristikaları:

1) naturada yerinə yetirilən eksperimentlərdən,
2) yükünün tərkibini hərtərəfli nəzərə olan hesabatlardan və
3) statik məlumatlar əsasında alına bilər.

Sistemdə yerinə yetirilən eksperiment nəticəsində alınan statik xarakteristikaların nümunəsi şəkil 2.22 –də göstərilib. Ayrı – ayrı istehlakçıların yükünün statik xarakteristikaları [4,17] –də verilib.



Şəkil 2.22. Sənaye yükünün statik xarakteristikaları

Keçid proseslərinin hesabatını yerinə yetirərkən çox zaman yükün tərkibini və onların həqiqi parametrlə–rini təyin etmək çətin olur. Bu halda kompleks yükün xarakteristikalarından istifadə olunur. Dəqiqləşdirilmiş statik məlumatlar nəzərə alınmaqla belə xarakteristikaların təyini metodikası [4]-də verilib. Bu metoda görə konkret məlumatlar olmadıqda kompleks yükün aşağıdakı xarakteristikalarından istifadə etmək tövsiyyə olunur:

– aktiv yük üçün orta hesabla $P_y \sim U$ təxmini dəyişmə diapazonu ilə

$$P_y^{/} = 0.6 + 0.4U, \quad P_y^{//} = -0.4 + 1.4U; \qquad (2.24)$$

– reaktiv yük üçün 110...220kV tərəfdə (cos φ –dən asılı olaraq)

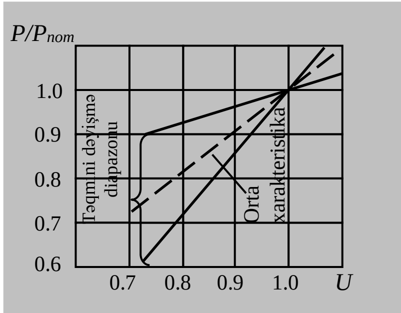
$$Q_y = \frac{4.15}{tg\varphi_y} - \frac{9.5}{tg\varphi_y}U + \left(\frac{5.6}{tg\varphi_y} + 1\right)U^2, \qquad (2.25)$$

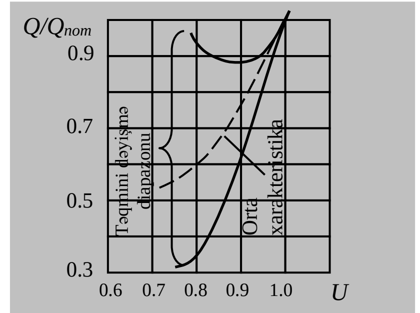
təqribi dəyişmə diapazonu ilə

$$Q_y^{/} = \frac{5.6}{tg\varphi_y} - \frac{11.2}{tg\varphi_y}U + \left(\frac{5.6}{tg\varphi} + 1\right)U^2, \tag{2.26}$$

$$Q_y^{//} = \frac{3.35}{tg\varphi_y} - \frac{8.9}{tg\varphi_y}U + \left(\frac{5.6}{tg\varphi_y} + 1\right)U^2, \tag{2.26}$$

(2.24)....(2.26) asılılıqların qrafiki təfsiri şəkil 2.23 –də göstərilib.





Şəkil 2.23. Kompleks yüklərin statik xarakteristikaları

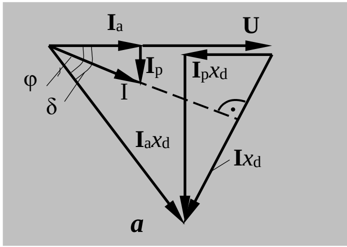
5. *Dinamik xarakteristikalarla* $P_y = f_1(U,t), Q_y = f_2(U,t)$. Bu xarakteristikalar ilkin verilənlər kimi hesabatda istifadə oluna bilər və ya hesabatın özünün aparılma prosesində təyin oluna bilər. İkinci halda kompleks yük onun tərkibi üzrə təqdim olunur.

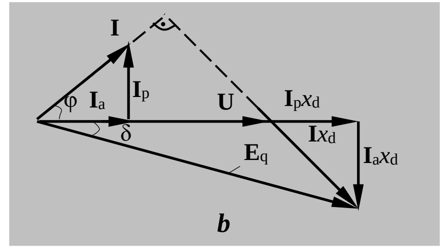
Yüklərin dinamik xarakteristikalardan böyük yük qovşaqlarının bilavasitə yaxınlığlnda olan böyük təsirlərin nəticəsində baş verən dayanıqlıq hesabatlarında istifadə olunur.

2.5. SİNXRON MÜHƏRRİKLƏR

Sinxron maşınlar üçün 2.1 bölməsində verilən bütün nəticələr və hesabatlarda onun təqdim edilmə üsulları elektrik enerjisini mexaniki enerjiyə çevirən sinxron maşın olan sinxron mühərriklər üçün də doğrudur. Lakin, bununla bərabər keçid proseslərini təhlil edərkən sinxron mühərriklər üçün xarakterik olan bəzi xüsusiyyətləri nəzərə almaq lazımdır:

1. Əgər sinxron generatorlar kiçik sürüşmə ilə işləyirsə, sinxron mühərriklərdə sürüşmə sıfırdan vahidə qədər dəyişə bilər. Sürüşmənin böyük həddə dəyişmələri zamanı dempfer konturlarının müqavimətinin aktiv mürəkkəbəsi ifayət qədər dəyişir. Ona görə də dəqiqləşdirilmiş hesabatlar üçün dempfer konturlarının aktiv müqavimətinin sürüşmədən asılılığı hesabata daxil edilir.
2. Sinxron mühərrik uzun müddət həm natamam təsirlənmə rejimində (təsirlənmə cərəyanının nominaldan aşağı olan vaxt), həm də ifrat təsirlənmə rejimində (təsirlənmə cərəyanının nominaldan yüksək olan zaman) işləyə bilər. Mühərriklərin bu rejimlərdəki vektor diaqramları şəkil 2.24 –də göstərilib. Natamam təsirlənən mühərrikin EHQ –si (E_q) mühərrikə tətbiq edilən gərginlikdən (U –dan) aşağıdır. Mühərrik reaktiv güc sərf edir (istifadə edir). İfrat təsirlənmiş





Şəkil 2.24. Sinxron mühərriklərin vektor diaqramı:
a – natamam təsirlənmə rejimi; *b* – ifrat təsirlənmə rejimi

mühərrikin EHQ –si (E_q) mühərrikə tətbiq edilən gərginlikdən (U –dan) çoxdur. Gərginliyin istənilən kəskin azalması mühərrikin generasiya etdiyi reaktiv cərəyanın artmasına səbəb olur. Mühərrik EHQ –si aşağıdakı formula ilə hesablanır

$$E_q = \sqrt{(U \pm I_P x_d)^2 + (I_a x_d)^2},$$

burada "–" işarəsi natamam təsirlənmə, "+" işarəsi isə ifrat təsirlənmə rejiminə uyğundur; reaktiv və aktiv cərəyanlar aşağıdakı kimi təyin olunur:

$$I_r = \frac{Q_{DB}}{U}, \qquad I_a = \frac{P_{DB}}{U}.$$

2.6. ASİNXRON MÜHƏRRİKLƏR

Keçid proseslərinin hesaabatında asinxron mühərriklər aşağıdakı parametrlərdə təqdim olunur:

1. *Sabit müqaviməti*

$$Z_M = \frac{U^2}{S_M}(\cos\varphi_M + j\sin\varphi_M),$$

burada U – tətbiq olunmuş gərginlikdir.

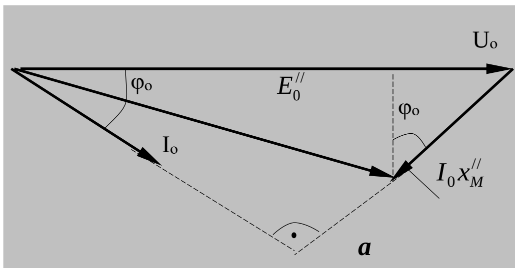
Mühərrikin belə təqdim olunması QQ cərəyanlarının və sistemin dayanıqlığın təqribi hesabatları zamanı istifadə olunur.

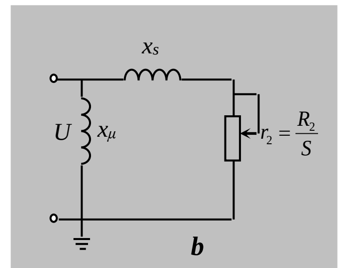
2. *İfratkeçid EHQ və müqavimət*. Belə sxemdən QQ –nin başlanğıc anında cərəyanın hesabatı zamanı istifadə olunur. İfratkeçirici müqavimət tormozlanmış mühərrikin (S=100% olduqda) QQ müqavimətinə bərabər qəbul olunur. Bu müqavimətin nisbi qiyməti işəsalma cərəyanı ilə təyin olunur:

$$x_{M*nom} = \frac{1}{I_{pusk*nom}}.$$

QQ –nin başlanğıc anında asinxron mühərrikə natamam təsirlənmiş sinxron mühərrik kimi fərz edilərək onun ifratkeçirici EHQ –si təyin olunur, çünki normal rejimdə o, kiçik sürüşmə ilə (s = 2…5%) işləyir. Mühərrikin vector diaqramı şəkil 2.25, *a* –da göstərilib.

Ifratkeçirici EHQ –nin başlanğıc qiyməti E''_0 bundan əvvəlki rejimdən təyin olunur və vektor diaqramına müvafiq olaraq aşağıdakı kimi ifadə olunur:





Şəkil 2.25. Asinxron mühərrikin vektor diaqramı (*a*) və onun əvəz sxemi (*b*):
$x_s = x_{s1} + x_{s2}$ – səpələnmə müqaviməti; $r_2 = R_2 / s$ – aktiv müqavimət; x_μ – maqnitləndirmə müqavimətidir

$$E_0^{//} = \sqrt{\left(U_0 \cos\varphi_0\right)^2 + \left(U_0 \sin\varphi_0 - I_0 x_M^{//}\right)^2} \qquad (2.27)$$

və ya təqribi olaraq, E''_0 –in onun U_0 vektoruna olan proyeksiyasına bərabərliyini qəbul edərək:

$$E_0^{//} = U_0 - I_0 x_M^{//} \sin\varphi_0, \qquad (2.28)$$

burada U_0, i_0, φ_0 – bundan əvvəlki rejimin parametrləridir.

3. *Sürüşmə və gərginlik üzrə statik xarakteristikalar*. Asinxron mühərrikin əvəz sxeminə (şəkil 2.25, *b*) müvafiq qurulmuş statik xarakteristikalarda mühərrikin statorundakı itkilər, həmçinin poladın maqnitləndirilməsi ilə əlaqədar olan aktiv güc itkiləri nəzərə alınmır. Qərarlaşmış rejimdə mühərrikin sərf etdiyi aktiv güc gərginlik və sürüşmə ilə aşağıdakı şəkildə əlaqədardır:

$$P = l^2 \frac{R_2}{S} = \frac{U^2 R_2}{\left[\left(R_2 / S\right)^2 + x_S^2\right] S} = \frac{U^2 R_2 S}{R_2^2 + (X_s S)^2} \qquad (2.29)$$

Asinxron mühərrikin aktiv gücə görə statik xarakteristikası olan (2.29) asılılığı şəkil 2.26 –da göstətilib.

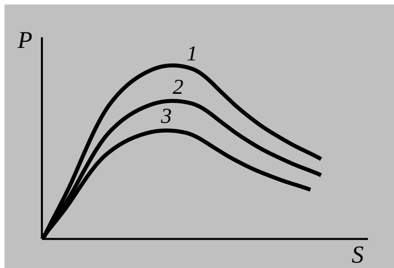
Mühərrikin sərf etdiyi reaktiv gücün iki mürəkkəbəsi var: maqnitləndirici Q_μ (maqnitləndirici cərəyanla əlaqədar olan) və səpələnmə gücü (statorda və rotorda səpələnmə sahəsinin yaradılması ilə əlaqəədar olan):

$$Q = Q_\mu + Q_S = \frac{U^2}{x_\mu} + I^2 x_s.$$

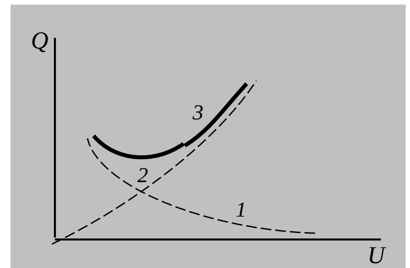
Reativ gücün gərginlikdən asılılığı şəkil 2.27 –də göstərilib.

Statik xarakteristikalardan keçid proseslərinin formalaşmasında əhəmiyyətli dərəcədə rolu olan dayanıqlıq, böyük mühərriklərin işəburaxma, özünü işəburaxma hesabatlarında istifadə olunur.

4. *Dinamik xarakteristikalar* ([17] –yə baxın).



Şəkil 2.26. P=f(s) xarakteristikası, tətbiq olunmuş gərginlikyin *U, 1*; *0.9*; *0.8*–ə bərabər qimətlərində (*1–3* əyriləri)



Şəkil 2.27. Mühərrikin reaktiv gücünün gərginlikdən asılılığı:
1 – $Q_\mu(U)$; 2– $Q_s(U)$; 3 –$Q_\Sigma(U)$

2.7. CƏRƏYAN MƏHDUDLAŞDIRICI VƏ ŞUNTLAYICI REAKTORLAR

Hər iki növ reaktor hesabatda sabit induktiv müqavimətlə göstərilir və açağıdakı formulalarla hesablanır:

a) cərəyan məhdudlaşdırıcı reaktor üçün

$$X_r = \frac{U_S U_{nom}^2}{100 S_{nom}} = \frac{U_S U_{nom}}{100\sqrt{3} I_{nom}}, \qquad (2.30)$$

b) şuntlayıcı reaktor üçün

c)

$$X_r = \frac{U_{nom}^2}{S_{nom}},$$

burada U_{nom}, I_{nom}, S_{nom} – reaktorun nominal gərginliyi, cərəyanı və gücüdür;

U_x – reaktorda gərginlik düşgüsünün reaktiv mürəkkəbləridir (reaktorun nominal gərginliyindən, faizlə).

Hesabatda reaktorun aktiv müqaviməti nəzərə alınmır.

2.8. ELEKTRİK TƏCHİZATI SİSTEMİ

Güclü enerjitəchizatı sisteminin keçid rejimi parametrlərinin hesabatı yalnız onun kiçik bir hissəsi üçün lazım olduğu halda, sistemin yerdə qalan hissəsi sadələşdirilmiş ekvivalent sxem şəkilində təqdim olunur. Bu sxem sistemin generatorları və yükünün EHQ və yekunlaşdırıcı müqaviməti brləşdirən ekvivalent EHQ E_c –dən ibarətdir. Yekunlaşdırıcı müqavimət aşağıdakı formula ilə hesablanır

$$x_C = \frac{E_C}{\sqrt{3}I_{qq}} = \frac{E_C^2}{S_{qq}}, \qquad (2.31)$$

burada I_{qq} – sistemin hesabat sxeminə birləşən qovşaqda sistemin yaratdığı üçfazalı QQ cərəyanıdır;

S_{qq} – qısaqapanma gücüdür, aşağıdakı kimi təyin olunur:

$$S_{qq} = \sqrt{3}I_{qq}U_{nom}$$

(U_{nom} – sistemə birləşən qovşağın nominal gərginliyidir).

Qısaqapanma gücü QQ-nin müəyyən zaman anı üçün verilir.

2.9. KEÇİD PROSESİNİN FORMALAŞMASINDA ELEKTRİK SİSTEMİNİN AYRI-AYRI ELEMENTLƏRİNİN ROLU

Keçid prosesin formalaşmasında elektrik sisteminin ayrı–ayrı elemetlərinin rolu energetik nöqteyi – nəzərdən qiymətləndirilə bilər, ona görə ki, elektrik və maqnit dövrələrində gedən fiziki proseslərin əsasını elektromaqnit hadisəsi – yəni elektromaqnit sahəsinin olması ilə əlaqədardır. Enerjisistemin istənilən rejimi onun elementlərinin sahəsində elektromaqnit enerjisinin müəyyən ehtiyatları ilə xarakterizə olunur.

Elektrik maşının maqnit sahəsinin enerjisini ifadə edərkən aşağıdakı kontur üçün Maksvel tənliyindən istifadə edək:

$$u = Ri + \frac{d}{dt}\Psi,$$

burada u – sıxaclardakı gərginlik;

R – dolağın müqaviməti;

i – dolaqdakı cərəyan;

Ψ – ilişmə selidir.

Bu tənliyi matrisa şəkilində yazıb və onu operator formasında ifadə edərək açağıdakını alarıq:

$$[u]=[R][i]+p([L][i]),$$

burada L – xüsusi və qarşılıqlı induktivlikdən ibarət olan matrisadır.

Maqnit sahəsində yığılan, cərəyan və induktivlik vasitəsilə ifadə olunan enerjini tapaq. Bunun üçün fərz edək ki, maşın hərəkət etmir, yəni sükunətdədir, ona görə də xüsusi L və qarşılıqlı M induktivlik sabitdir. O zaman üçdolaqlı maşın üçün gərginliklərin tənliyi aşağıdakı şəkildə olacaq

$$u_1=R_{11}i_1+L_{11}\frac{di_1}{dt}+M_{12}\frac{di_2}{dt}+M_{13}\frac{di_3}{dt},$$
$$u_2=M_{21}\frac{di_1}{dt}+R_{22}i_2+L_{22}\frac{di_2}{dt}+M_{23}\frac{di_3}{dt},$$
$$u_3=M_{31}\frac{di_1}{dt}+M_{32}\frac{di_2}{dt}+R_{33}i_3+L_{33}\frac{di_3}{dt}.$$

Sıxaclardakı tam ani güc aşağıdakına bərabər olacaq

$$P=i_1u_1+i_2u_2+i_3u_3=\sum_{k=1}^{3}R_{kk}(i_k)^2+\sum_{k=1}^{3}L_{kk}i_k\frac{di_k}{dt}+\sum_{\substack{k=1\\n=1\\k\neq n}}^{\substack{n=3\\k=3}}M_{kn}i_k\frac{di_n}{dt}.$$

Burada $\sum_{k=1}^{3}R_{kk}(i_k)^2$ – müqavimətlərdə səpələnən gücdür, ifadənin yerdə qalan hədləri maqnit sahəsində yığılan gücü göstırir, ona görə ki, maşın sükunətdədir.

Nəzərə alaraq ki, M_{12} = M_{21} və s. və zamana görə sıfır başlanğıc şərtdən inteqrallıyaraq maşının maqnit sahəsində yığılan tam enerjini alarıq:

$$W_M = \int_0^t P dt = \sum_{k=1}^{3} \frac{L_{kk}(i_k)^2}{2} + \sum_{\substack{k=1 \\ n=2 \\ k \neq n}}^{\substack{n=3 \\ k=2}} M_{kn} i_k i_n. \qquad (2.32)$$

Maşının elektrik sahəsində yığılan enerji onun dolağının tutumunun kiçik olması səbəbindən nəzərə alınmır. Çünki bundan sonra yalnız simmetrik maşında gedən proseslər baxıldığına görə $L_{kk} = L$, $M_{kn} = M$ qəbul etmək olar. Həmçinin cərəyanların simmetriyasını nəzərə alaraq və cərəyanların ani qiymətini təsiredici qiymətlə əvəz edərək maşının maqnit sahəsində ehtiyatlanan enerjinin təsiredici qiymətini alarıq:

$$W_M = \frac{3}{2}\left(LI^2 - MI^2\right). \qquad (2.33)$$

(2.32) və (2.33) tənliklərində təsirlənmə dolağının maqnit sahəsində toplanmış enerji ehtiyatı nəzərə alınmayıb. Bu enerjini təqribi olaraq təsirlənmə dolağının induktivliyi üçün olan ifadədən tapmaq olar. $T_{d0} = T_f$ qəbul edərək $L_f = T_{d0}\, r_f$ alarıq.

Təsirlənmə dolağının enerjisini aşağıdakı formula ilə hesablayaraq

$$W_{0.B} = \frac{L_f I_f^2}{2},$$

burada L_f, I_f – müvafiq olaraq təsirlənmə dolağının stator dolağına gətirilmiş induktivliyi və cərəyanıdır,

və bu tənlikdə $I_f = I_{f\,yi}$ və $I_f = I_{f\,nom}$ qiymətlərini yerinə yazsaq yüksüz işləmə rejimində, həmçinin normal və qəzadan sonrakı rejimlərdə generatorun təsirlənmə dolağında yığılmış enerji ehtiyatını alarıq. Məsələn, TBB – 500 – 2 generatorunun təsirlənmə dolağında onun yüksüz işləmə rejimində yığılan enerji ehtiyatının qiyməti $0.49 \cdot 10^6$ J, normal və qəzadan rejimlərdə isə $2.86 \cdot 10^6$ J təşkil edir. Bir halda ki, tipik maşınların stator və rotor dövrələri parametrlərinin qiyməti eyni bir tərtibdədir, belə nəticə çıxarmaq olar ki, təsirlənmə dolağında yığılan enerji ehtiyatı stator dövrəsində yığılan enerji ehtiyatı ilə müqayisə ilə oluna bilər və generatorun maqnit sahəsinin enerjisini hesablayarkən onu nəzərə almaq lazımdır.

Y ü k s ə k g ə r g i n l i k x ə t t i üçün dx elementinin elektrik və maqnit enerjisi aşağıdakı tənliklərlə ifadə olunur

$$dW_M = \frac{1}{2} i_x^2 L_0 dx, \quad dW_E = \frac{1}{2} u_x^2 C_0 dx, \qquad (2.34)$$

burada L_0 və C_0 – müvafiq olaraq xəttin xüsusi induktivliyi və tutumudur.

Xəttin uzunluğu üzrə (2.34) tənliklərini inteqrallıyaraq yüksək gərginlik xəttinin elektrik və maqnit sahələrinin tam enerjisini alarıq

$$W_M = \frac{L_0}{2} \int_0^l i_x^2 dx, \quad W_E = \frac{C_0}{2} \int_0^l u_x^2 dx.$$

Nəzərə alaraq ki, $\frac{1}{l} \int_0^l u_x^2 dx = u_{or}^2, \quad \frac{1}{l} \int_0^l i_x^2 dx = i_{or}^2,$ və cərəyan və gərginliyin ani qiymətlərini təsiredici qiymətlərlə əvəz edəcək elektrik və maqnit sahəsinə yığılmış enerjinin təsiredici qiymətini alarıüq;

$$W_M = \frac{L}{2} i_{or}^2, \quad W_E = \frac{C}{2} U_{or}^2.$$

Buna oxşar ifadələri elektrik sisteminin istənilən elementinin elektromaqnit sahəsində yığılan enerjinin təyin olunması üçün yazmaq olar.

Bir qərarlaşmış rejimdən digərinə qəflətən keçən zaman bundan əvvəlki qərarlaşmış rejimdə dövrənin elementlərinin sahəsində yığılmış enerji ehtiyatı, baş vermiş dəyişiklikdən sonra qərarlaşmış yeni rejimdə sahələrdəki enerji ehtiyatına uyğun olmadığına görə dövrədə keçid prosesi baş verir. Bu səbəbdən də elektrik sisteminin hər bir elementinin bundan əvvəlki normal rejimlə (n.r), qəzadan sonrakı qərarlaşmış rejimin (q.s.r) energetik səviyyələrinin fərqi ilə

$$\Delta W_t = W_{n.r\,t} - W_{q.q.rt}$$

sistemin bu elementinin keçid prosesinin formalaşmasında rolunu xarakterizə etmək.

Aydındır ki, hər hansı bir elementin rolu onun qısaqapanma yerindən nə qədər uzaqda yerləşməsindən asılıdır. Energetik səviyyələrin fərqinə ehtiyata yığılmlş enerjinin mütləq qiyməti də təsir edir. Məsələn, uzun elektrik veriliş xəttində QQ zamanı keçid prosesinin formalaşmasında müəyyən edici rolu xəttin özü oynayır [9].

Yuxarıda göstərilən energetik yanaşmadan, həmçinin QQ –nın bundan əvvəlki rejimi əhəmiyyətli dərəcədə dəyişmədiyi zaman hesabat sxemini ekvivalentləşdirərkən sxemin həmin hissəsinin təyini üçün də istifadə oluna bilər. Sxemin bu hissəsi ekvivalent müqavimət və EHQ kimi təqdim oluna bilər.

YOXLAMA SUALLARI

1. Üçfazalı sistemin ümumiləşdirilmiş vektoru nədir və elektrik maşınının iş rejimlərinin təhlili zamanı onun rolu nədən ibarətdir?
2. Sinxron maşında keçid prosesi hansı tənliklərlə təsvir olunur?
3. Keçid proseslərinin hesabatında aydın görünən qütblü və aydın görünməyən qütblü sinxron maşınların hansı əvəz sxemləri vardır?
4. Sinxron maşınların əsas parametrlərini sayın və onların fiziki mənasını izah edin.
5. Keçid proseslərinin hesabatında transformatorlar necə təqdim olunur?
6. Keçid proseslərinin hesabatında yükün təqdim olunma üsullarını sadalayın.
7. Qısaqapanma cərəyanlarının və dayanıqlığın hesabatında mühərrikin təqdim olunmasının hansı sxemləri vardır?
8. Keçid prosesin formulaşmasında elektrik sistemi elementlərinin rolunu necə qiymətləndirmək olar?

F ə s i l 3

QQ CƏRƏYANLARININ HESABATINA ÜMUMİ GÖSTƏRİŞLƏR

3.1. HESABAT ZAMANI QƏBUL EDİLƏN ƏSAS SADƏLƏŞDİRMƏLƏR

Mürəkkəb elektrik sistemində (istənilən rayon elektrik sistemi belə sistemdir) bütün təsir edən faktorları nəzərə alan keçid proseslərinin hesabatı – mürəkkəbdir və çox zəhmət tələb edir. Onu sadələşdirməkdən ötürü bir sıra amilləri nəzərə almırlar, sadələşdirirlər. Lakin onlardan bəziləri bir məsələnin həlli üçün doğrudursa, digəri üçün tamamilə qəbuledilməz ola bilər. Odur ki, aşağıda

əsasən praktiki məsələlərin çox hissəsinin həlli zamanı qəbul edilən sadələşdirmələr verilir:

1. Üçfazalı sistemin simmetrikliyi saxlanılır (bu yalnız zədələnmə yerində pozulur).
2. Transformatorların və avtotransformatorların maqnitləndirmə cərəyanı nəzərə alınmır.
3. Maqnit sistemində doymanın olmaması (yəni sxemin bütün elementləri xətdir).
4. Aktiv müqavimətlər nəzərə alınmır. Gərginliyi 1000 V –a qədər olan şəbəkələrdə kiçik en kəsikli naqillərlə yerinə yetirilən şəbəkələrdə QQ cərəyanının və zaman sabitinin qiymətləndirilməsinin hesabatı – istisnadır.
5. Xəttin tutum keçiriciliyini nəzərə alınmır. Yerlə sadə qapanmaların hesabatı – istisnadır.
6. Yüklər sabit müqavimətlərlə nəzərə alınır.
7. Sinxron maşınların fırlanma sürəti sabitdir (keçid prosesinin başlanğıc mərhələsi t = 0,1...0,2 san üçün). Hesabat sxeminin EHQ vektorlarının faza üzrə sürüşməsi nəzərə alınmır.

Keçid proseslərinin hesablanması üçün hesablanma texnikasının tətbiqi bəzi sadələşdirilmələrdən imtina etməyə və bununla da hesabatların nəticəsinin dəqiliyini artırmağa və keçid prosesini xarakterizə edən hadisələrin daha dolğun şəkildə nəzərə almağa imkan yaradır.

3.2. ƏVƏZ SXEMİNİN TƏRTİB OLUNMASI VƏ ONLARIN PARAMETRLƏRİNİN HESABLANMASI

Elektrik sisteminin prinsipial sxemi əsasında keçid rejiminin hesabatından əvvəl onun hesabat sxemi tərtib olunur. Hesabat sxemi prinsipial sxemdən onunla fərqlənir ki, burada birxətli təsvirdə yalnız o elementlər göstərilir ki, onlardan gəza cərəyanları və ya onların mürəkkəbələrinin axması mümkün ola bilər. Hesabat sxemində transformator olduğu zaman onda olan maqnit əlaqəli dövrəni bir ekvivalent elektriki əlaqəli dövrə kimi göstərmək məqsədəuyğundur. Mürəkkəb elektrik sxeminin əvəz sxemi onun ayrı – ayrı elementlərinin əvəz sxemlərinin birləşmələrindən ibarətdir (54 –cü səhifədəki cədvələ bax). Bu əvəz sxemlərində elementlər hesabat sxemində olduğu kimi birləşdirilib.

Əvəz sxemi tərtib olunduqdan sonra onun parametrləri adlı yaxud nisbi vahidlərdə hesablanır. Bundan sonra alınmış qiymətlər gərginliyin əsas pilləsinə gətirilir.

3.2.1. Nisbi vahidlər sistemi

Elektrik kəmiyyətlərinin nisbi vahidlərdə ifadə olunmasından elektrik maşınları nəzəriyyəsində geniş istifadə olunur. Bu onunla əlaqədardır ki, istənilən kəmiyyətin adlıda deyil, nisbi vahidlərdə təqdim olunması izahları, nəzəri nəticələri əhəmiyyətli dərəcədə sadələşdirir və hesabatların nəticələrinə çox böyük əyanilik verir.

Hər hansı bir kəmiyyətin nisbi qiyməti dedikdə onun bazis kimi qəbul olunmuş eyni adlı kəmiyyətə nisbəti başa düşülməlidir. Ona görə də hər hansı bir kəmiyyəti nisbi vahidlərdə ğöstərməmişdən əvvəl bazis vahidini seçmək lazımdır.

Bazis cərəyanı və bazis xətti gərginliyi kimi ixtiyarı I_b, U_b kəmiyyətlərini qəbul edək. O zaman üç fazalı sistemin bazis gücü aşağıdakı formula ilə olunacaq

$$S_b = \sqrt{3} U_b I_b,$$

bazis müqaviməti isə

$$Z_b = \frac{U_b}{\sqrt{3} I_b}.$$

formulası ilə təyin olunur. Buradan görsənir ki, ancaq iki kəmiyyət ixtiyarı seçilə bilər, yerdə qalanlar isə əlaqələndiricilərdir. Odur ki, nisbi bazis vahidlərində elektrik sisteminin parametrləri aşağıdakı formulalarla hesablanacaq

$$U_{*b} = U / U_b, \qquad (3.1)$$

$$I_{*b} = I / I_b, \qquad (3.2)$$

$$S_{*b} = S / S_b, \qquad (3.3)$$

$$Z_{*b} = Z / Z_b. \qquad (3.4)$$

Burada *U*, *I*, *S*, *Z* – parametrləri adlı vahidlərdədir (V, A, VA, Om);
indekslər: * – kəmiyyətin nisbi vahidlərdə ifadə olunmasını;
b – kəmiyyətin bazis şərtlərinə gətirildiyini göstərir.

Nisbi müqaviməti başqa cür də təyin etmək olar:

$$Z_{*b} = Z / Z_b = \frac{\sqrt{3} I_b Z}{U_b} = Z \frac{S_b}{U_b^2}. \qquad (3.5)$$

QQ cərəyanlarının hesablanması zamanı əvəz sxemlərində elektrik sistemi elementlərinin göstərilməsi

Elementlərin adı	Prinsipial sxemi	Əvəz sxemi	Müqavimətlərin ifadələri	
			Adlı vahidlərdə	Nisbi vahidlərdə
Sistem	S, U_{nom}	E''_S, x''_S	$X''_S=\frac{U^2_{or.nom}}{S''_{qq}}$	$X''_S=\frac{S_b}{S''_{qq}}$
Sinxron generator (dempfer dolaqları ilə) yaxud sinxron mühərrik	G, U_{nom} t =0	E''_g, x''_d	$X''_d=X''_{d*nom}\frac{U^2_{nom}}{S_{nom}}$	$X''_d=X''_{d*nom}\frac{S_b}{S_{nom}}$
	MS, U_{nom} t = ∞	E_g, x_d	$X''_d=X''_{d*nom}\frac{U^2_{nom}}{S_{nom}}$	$X''_d=X''_{d*nom}\frac{S_b}{S_{nom}}$
Asinxron mühərrik	M, U_{nom}, t = 0	E''_M, x''_M	$X''_M=\frac{U^2_{nom}}{l_pS_{nom}}$	$X''_M=\frac{S_b}{l_pS_{nom}}$
	t = ∞	E_M, x_M	$X_M=\frac{U^2_{nom}}{S_{nom.M}}$	$X_M=\frac{S_b}{S_{nom.M}}$
Ümumi-ləşdirilmiş yük	$S_н$, $U_н$, t = 0	E''_y, x''_y	$X''_y=0{,}35\frac{U^2_{nom}}{S_{nom}}$	$X''_y=0{,}35\frac{S_b}{S_{nom}}$
	t = ∞	x_y	$X_y=1{,}2\frac{U^2_{nom}}{S_{nom}}$	$X_H=1{,}2\frac{S_б}{S_{ном}}$
Transformator	T	x_T	$X_T=\frac{U_K\%U^2_{ном}}{100\ S_{ном}}$	$X_T=\frac{U_K\%S_б}{100\ S_{ном}}$
Üçdolaqlı trasformator avtotransfor-mator	T AT	x_B, x_C, x_H	$X_B=\frac{U_{KB}\%U^2_{nom}}{100\,S_{nom}}$ $X_C=\frac{U_{KC}\%U^2_{nom}}{100\,S_{nom}}$ $X_y=\frac{U_{KH}\%U^2_{nom}}{100\,S_{nom}}$	$X_B=\frac{U_{KB}\%S_b}{100\,S_{nom}}$ $X_C=\frac{U_{KC}\%S_b}{100\,S_{nom}}$ $X_y=\frac{U_{KH}\%S_b}{100\,S_{nom}}$
Reaktor	R	x_R	$X_R=\frac{X_R\%U_{R\,nom}}{100\sqrt{3}I_{R\,nom}}$	$X_R=\frac{X_R\%I_bU_{R.nom}}{100I_{nom}U_b}$
Hava yaxud kabel xətti	L L	x_L, R_L	$R_L=r_0l$ $x_L=x_0l$	$R_L=r_0l\frac{S_b}{U_b^2}$ $X_L=x_0l\frac{S_b}{U_b^2}$

Nisbi bazis vahidinin xüsusi halı nisbi nominal vahiddir və o, hər hansı bir elementin nominal qiymətləri – I_{nom}, U_{nom}, S_{nom} bazis kimi qəbul olunduqda tətbiq olunur. Nisbi nominal vahidlərdə generatorların, mühərriklərin transformatorların, reaktorların parametrləri ifadə olunur. Bu halda bazis şərtlərinin hesabatı aşağıdakı şəkildə yerinə yetirilir:

$$U_{*b} = U_{*nom}\frac{U_{nom}}{U_b}; \qquad Z_{*b} = Z_{*nom}\frac{I_b U_{nom}}{U_b I_{nom}} = Z_{*nom}\frac{S_b U_{nom}^2}{S_{nom} U_b^2}. \qquad (3.6)$$

Nisbi vahidlərdə istənilən fiziki kəmiyyətləri ifadə etmək olar. Bunlardan elektrik sistemində elektromexaniki keçid proseslərini xarakterizə edənlərə baxaq.

Zaman. Zamanın bazis kəmiyyəti olaraq elektrik maşınını rotorunun sinxron sürətlə fırlanması (ω_o) zamanı rotorun bir elektrik radianı qədər dönmə müddəti qəbul olunur, yəni $\omega_o t_b = 1$ yaxud $t_b = 1/\omega_o$. Beləliklə nisbi vahidlərdə ifadə olunan, zaman, $f = 50$Hz tezlikdə aşağıdakı kimi hesablanacaq

$$t_{*b} = \frac{t}{t_b} = \omega_0 t = 314t.$$

Xüsusi halda, istənilən konturun zaman sabiti aşağıdakı formula ilə ifadə olunur

$$T_{*b} = \omega_0 T = \omega_0\frac{L}{R} = \frac{x}{R} = \frac{x_{*b}}{R_{*b}}.$$

Sürət. Bucaq sürətinin ölçülmə vahidi olaraq sinxron bucaq sürəti (ω_o) qəbul olunur, o zaman

$$\omega_{*b} = \frac{\omega}{\omega_b} = \frac{\omega}{\omega_0} \text{ olar.}$$

Rotorun dönmə bucağı. Elektrik maşının rotorunun dönmə bucağı adətən elektrik radianı ilə təyyin olunur, lakin bəzən bütün kəmiyyətlərin nisbi vahidlərdə yazılması zamanı o, elektrik dərəcəsi ilə ifadə olunur. Elektrik dərəcəsi və ya radianla ifadə olunan bucaq həndəsi dərəcə ilə ifadə olunan bucaqla aşağıdakı əlaqəyə malikdir (şəkil 3.1)

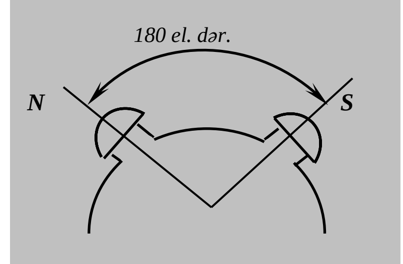
$$\frac{\delta_{el}}{\delta_{hen}} = \frac{180}{360/2m_p},$$

buradan $\delta_{el} = \delta_{hen} m_r$ (m_r generatorun cüt qütblərinin sayıdır).
Radianla və bucaqla ifadə olunmuş bucaların nisbəti bucaqların nisbəti, aşağıdakı kimidir:

$$\frac{\delta_{rad}}{\delta_{der}} = \frac{2\pi f}{360 f},$$

buradan

$$\delta_{rad} = \frac{314}{18000}\delta_{rad} = \frac{\delta_{rad}}{57.3}.$$



Şəkil 3.1. Bucağın elektrik dərəcəsi ilə təqtim olunması

Anoloji olaraq, induktivliyin ilişmə selinin bazis vahidində ifadələrini yaza bilərik: induktivlik

$$L_b = \frac{Z_b}{\omega_b} = \frac{Z_b}{\omega_0},$$

ilişmə seli

$$\psi_b = \frac{U_b}{\omega_b} = \frac{U_b}{\omega_0}.$$

Bazis bucaq sürəti halında ilişmə seli Ψ_b bazis gərginliyini induksiyalayır.

Göstərilən bazis vahidləri üçün aşağıdakı ifaləri yazmaq olar

$$x_{*b} = \omega_0 L_{*b},$$

$$\psi_{*b} = I_{*b} L_{*b} = I_{*b} x_{*b},$$

$$E_{*b} = \omega_0 \psi_{*b} = \psi_{*b},$$

Bir nisbi kəmiyyətin digəri ilə əvəz olunma imkanı nisbi vahidlər sisteminin mühüm üstünlüyüdür.

3.2.2. Sxemin parametrlərinin gərginliyin əsas pilləsinə gətirilməsi

Hesablama sxemində transformatorlar olduqda transformasiyanın müxtəlif pillələrində olan sxemlərin müqavimətlərinin və EHQ –lərinin əsas kimi qəbul olunmuş bir pilləyə gətirilmə zəruriyyəti yaranır. Gətirmə transformatorun məlum nəzəriyyəsinə əsaslanır və gətirilmiş parametrlər üçün aşağıdakı nisbətləri verir:

$$\overline{E} = (k_1 k_2 ..... k_n) E, \qquad (3.7)$$

$$\overline{U} = (k_1 k_2 ..... k_n) U, \qquad (3.8)$$

$$\bar{I} = \frac{1}{(k_1 k_2 ... k_n)} I, \qquad (3.8)$$

$$\overline{Z} = (k_1 k_2 ..... k_n)^2 Z,$$

Burada transformatorun yaxud avtotransformatorun transformasiya əmsalı (*k*) dedikdə yüksüz işləmə zamanı onun dolaqlarının fazalararası gərginliklərinin nisbəti başa düşülür və əsas pillədın elementin yerləşdiyi pilləyə doğru istiqamətdə təyin edilir. Əsas gərginlik pilləsi kimi transformatorun istənilən dolağının fazalararası gərginliyi gəbul edilə bilər və yerdə qalan pillələrin gərginliyi əsas pilləyə gətirilir.

Adlı vahidlərdə gətirilmələr. Bu halda sxemin elementlərinin müqavimətlərinin hamısı omla ifadə olunmalıdır. Müqavimətləri nisbi nominal vahidlərdə verilmiş elementlər (generatorlar, transformatorlar və s.) üçün müqavimətlərin ifadələri aşağıdakı kimi olacaq:

$$Z = Z_{*nom} Z_{nom} = Z_{*nom} \frac{U_{nom}^2}{S_{nom}} = Z_{*nom} \frac{U_{nom}}{\sqrt{3} I_{nom}}.$$

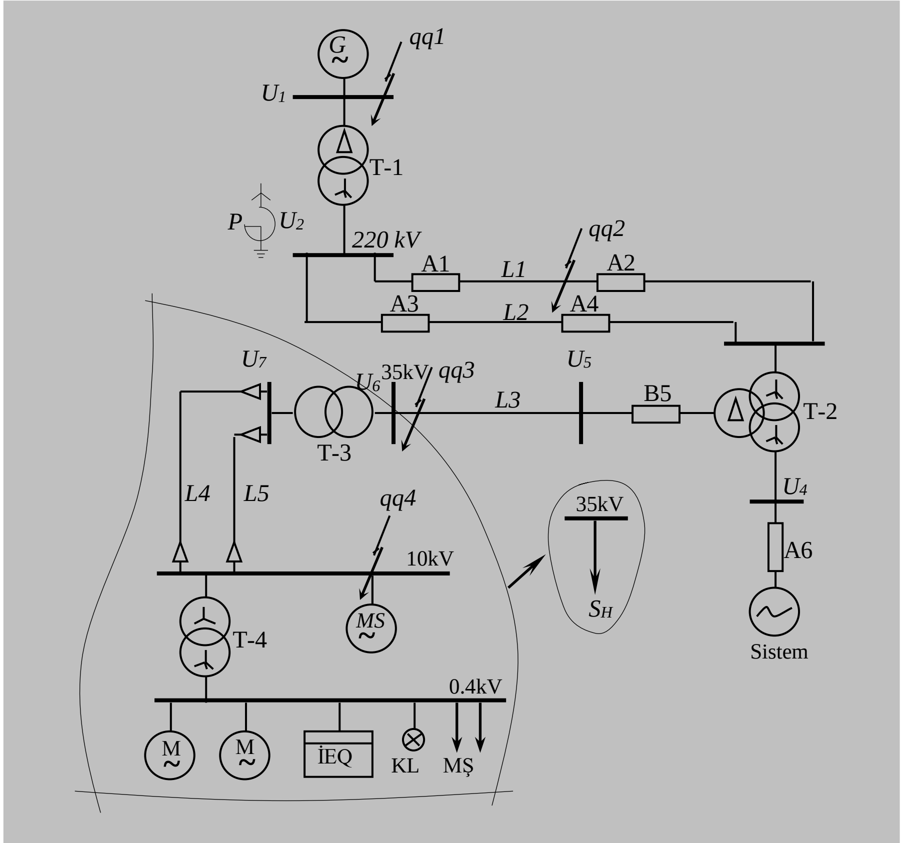
Şəkil 3.2 –də göstərilən ES sxeminin bir sıra elementlərinin müqavimətləri (əsas pillə kimi 220 kV qəbul olunub) aşağıdaki kimi təyin olunur:

generatorun G

$$x_G = x_{nomG} = \frac{U_{nomG}^2}{S_{nomG}} = \left(\frac{U_2}{U_1}\right)^2, \quad E_G = E_G \frac{U_2}{U_1};$$

xəttin L4

$$x_L = x_0 l (k_2 k_3)^2 = x_0 l \left(\frac{U_3 U_6}{U_5 U_7} \right)^2; \qquad (3.10)$$



Şəkil 3.2. Elektrik təchizatı sisteminin prinsipial sxemi: M və MS – asinxron və sinxron mühərriklər; İEQ – istilik elektrik qızdırıcıları; KL – közərmə lampaları; MŞ – magistral şin naqili; sxemdə ancaq onun modifikasiyası üçün vacib olan açarlar göstərilib

transformatorun *T*–4

$$x_T = \frac{U_K\%U_{nom}^2}{100S_{nom}}(k_2k_3)^2 = \frac{U_K\%U_{nom}^2}{100S_{nom}}\left(\frac{U_3U_6}{U_5U_7}\right)^2; \qquad (3.11)$$

Elementləri göstərilən şəkildə verilmiş sxemdə hesablanan cərəyan və gərginliklər yalnız onun əsas pilləsi üçün realdır. Sxemin başqa pillələrindəki həqiqi cərəyan və gərginliklər (3.8) və (3.9) ifadələri ilə hesablanmaqla tapılır.

Nisbi bazis vahidlərində gətirmələr. Şəkil 3.2-də göstərilən sxemin bir sıra elementlərinin müqaviməti üçün nisbi bazis vahidlərində ifadələri (220 kV-luq əsas pilləyə gətirilmiş) aşağıdakı kimi olacaq:

generatorun *G*

$$x_{G*b} = x_{G*H}\frac{S_bU_{nomG}^2}{S_{nomG}U_b^2}(k_1)^2 = x_{G*H}\frac{S_bU_{nomG}^2}{S_{nomG}U_b^2}\left(\frac{U_2}{U_1}\right)^2; \qquad (3.12)$$

xəttin *L*4

$$x_{L*b} = x_0l\frac{S_b}{U_b^2}(k_2k_3)^2 = x_0l\frac{S_b}{U_b^2}x_{G*H}\frac{S_b}{U_b^2}\left(\frac{U_3U_6}{U_5U_7}\right)^2; \qquad (3.13)$$

transformatorun *T* – 4

$$x_{T*b} = \frac{U_K\%S_bU_{nom}^2}{100S_{nom}U_b^2}(k_2k_3)^2 = \frac{U_K\%S_б U_{nom}^2}{100S_{nom}U_b^2}\left(\frac{U_3U_6}{U_5U_7}\right)^2; \qquad (3.14)$$

(3.12) – (3.14) formulalarından transformasiya əmsalını bazis gərginliyinə daxil edək. Alınan ifadənin görünüşü (3.6) –da olduğu kimidir:

$$x_{G*b} = x_{G*b}\frac{S_bU_{nomG}^2}{S_{nomG}U_{b2}^2}, \quad x_{L*b} = x_0l\frac{S_b}{U_{b3}^2}, \quad x_{T*b} = \frac{U_K\%}{100}\frac{S_b}{S_{nomT}}\frac{U_{nomT}^2}{U_{b3}^2},$$

$$U_{b2} = U_{b1}(1/k_1); \qquad U_{b3} = U_{b1}(1/k_1k_2); \qquad (3.15)$$

və bazisə gətirilən müqavimətlərin pilləsində olduqları bazis gərginliyini göstərir. Beləliklə, nisbi bazis vahidlərində sxemin parametrlərini hesablamaq üçün sxemin bir pilləsi üçün bazis vahidini seçmək, bundan sonra (3.15) formulaları üzrə başqa pillələr üçün bazis gərginliyini təyin etmək lazımdır. Bu zaman hər pillənin bazis cərəyanı aşağıdakı kimi hesablanır:

$$I_{b2} = \frac{S_b}{\sqrt{3}U_{b2}}, \qquad I_{b3} = \frac{S_b}{\sqrt{3}U_{b3}}.$$

Bundan sonra nisbi bazis vahidlərində (3.1) – (3.6) ifadələri ilə bütün kəmiyyətlər hesablanır, belə ki, göstərilən hər bir ifadədə U_b, I_b, z_b parametrlərini transformasiyanın o pilləsinin bazis parametrləri kimi başa düşülməlidir, hansında ki, gətirilməli olacaq kəmiyyətlər yerləşir.

Baxılan gətirilmələrdə ilkin kəmiyyətlər qismində verilən həqiqi transformasiya əmsalları iştirak edirlər. Belə gətirmə d ə q i q g ə t i r m ə adlanır.

Praktiki hesabatlarda ifadələri sadələşdirməyə və hesabatların həcmini azaltmağa imkan verən t ə q r i b i g ə t i r m ə d ə n istifadə olunur. Təqribi gətirmə ondan ibarətdir ki, transformasiyanın hər bir pilləsi üçün aşağıda göstərilən gərginlik şkalasından orta nominal gərginlik müəyyən edilir:

515, 340, 230, 154, 115, 37, 24, 20, 18, 15, 75,
13.8, 10.5, 6.3, 3.15, 0.69, 0.4, 0.23, 0.127 kV

Bu zaman qəbul edilir ki, bütün elementlərin nominal gərginliyi (onlarla eyni pillədə olan reaktorlardan başqa) eynidir və U_{or} –ya bərabərdir. Bu halda hər bir transformatorun transformasiya əmsalı $U_{or.y}/U_{or.al}$ nisbətinə bərabər olur (yüksək və alçaq gərginlik dolaqlarının orta nominal gərginliyidir). Kaskad transformatorların transformasiya əmsalı kənar pillələrin orta nominal gərginliklərin nisbəti kimi təyin ediləcək ki, bu da gətrilmələri sadələşdirir.

Nümunə 3.1. Elektrik sistemini verilmiş sxemi üçün (şəkilə bax) dəqiq və təqribi gətirmələri nisbi və adlı vahidlərdə yerinə yetirin. Generatorun əvvəlcədən nominal gərginliklə yüksüz iş rejimində işlədiyini hesab edərək, üçfazalı QQ zamanı ilkin ifrat keçirici cərəyanı təyin edin.

Sxemin elementlərinin parametrləri:

Generator G: $S_{nom} = 176.5MVA, \quad U_{nom} = 15.75kV, \quad x_d^{//} = 0.15.$

Transformator T-1: $S_{nom} = 180MVA, \quad 242/15.75kV, \quad U_{qq} = 12\%.$

Transformator T-2, T-3:

$S_{nom} = 90MVA, 220/38.5/11kV, U_{y.or} = 12\%, U_{y.al} = 20\%, U_{or.al} = 8\%.$

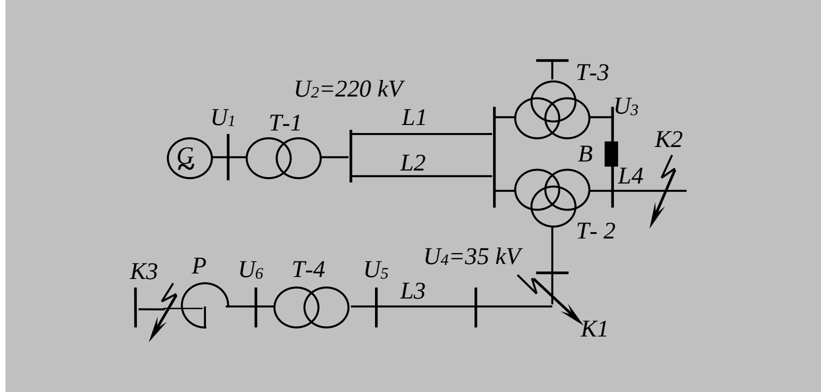
Transformator T-4: $S_{nom} = 60MVA, \quad 35/6.6kV, \quad U_{qq} = 10.5\%.$

Xətt L1, L2: $l = 110km, \quad x_0 = 0.4 Om/km.$

Xətt L3: $l = 30km, \quad x_0 = 0.4 Om/km.$

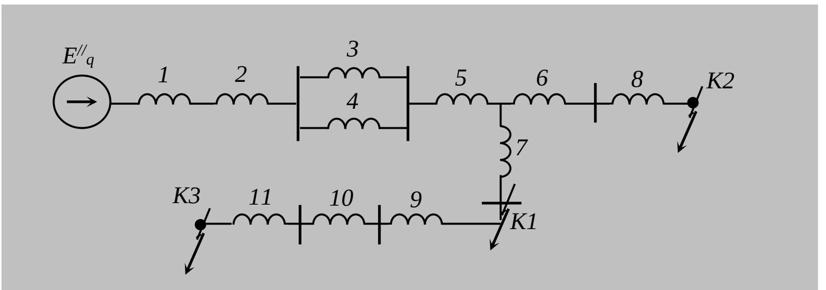
Xətt L4 (kabel): $l = 2.5 km, \quad x_0 = 0.08 Om/km.$

Reaktor: $U_{nom} = 6kV, \quad l_{nom} = 500A, \; x = 5\%.$



H ə l l i

1. Hesabat əvəz sxemi



2. Adlı vahidlərdə dəqiq gətirmələr

Əsas pillə kimi T-1 transformatorunun yüksək gərginlik şinini $U_{əs.}$ = 220 kV qəbul edək. Həqiqi transformasiya əmsallarının nəzərə alınması zamanı reaktiv müqavimətlərin aşağlda verilən gətirilmə qiymətlərini alarıq:

$$x_1 = x_d^{//} \frac{U_{nom}^2}{S_{nom}} \left(k_{t1}\right)^2 = 0.15 \frac{15.75}{176.5} \left(\frac{242}{15.75} \right)^2 = 49.8 Om,$$

$$x_2 = \frac{U_{qq}\%}{100}\frac{U_{nom1}^2}{S_{nom1}} = \frac{12}{100}\frac{242^2}{180} = 39\,Om, \quad x_3 = x_4 = x_0 l_1 = 0.4 \cdot 110 = 44\,Om,$$

$$x_5 = \frac{U_{qq.y}U_{nom}^2}{100 S_{nom}} = \frac{12}{100}\frac{220^2}{90} = 64.5\,Om,$$

$$\mathrm{U}_{\mathrm{qq.y}} = 0.5\left(U_{qq.y-or} + U_{qq.y-a\ell} - U_{qq.or-a\ell}\right) = 0.5(12 + 20 - 8) = 12\%,$$

$$x_6 = \frac{U_{qq.a\ell}}{100}\frac{U_{nom}^2}{S_{nom}} = \frac{8}{100}\frac{220^2}{90} = 43\,Om,$$

$$\mathrm{U}_{\mathrm{qq.a}\ell} = 0.5\left(U_{qq.y-a\ell} + U_{qq.or-a\ell} - U_{qq.a\ell-or}\right) = 0.5(20 + 8 - 12) = 8\%,$$

$$x_7 = \frac{U_{qq.or}}{100}\frac{U_{nom}^2}{S_{nom}} = 0,$$

$$\mathrm{U}_{\mathrm{qq.}or} = 0,$$

$$x_8 = x_0 l_4 (k_{t2})^2 = 0.08 \cdot 2.5\left(\frac{220}{11}\right)^2 = 80\,Om,$$

$$x_9 = x_0 l_3 (k_{t2})^2 = 0.04 \cdot 30\left(\frac{220}{38.5}\right)^2 = 392\,Om,$$

$$x_{10} = \frac{U_{qq}\%}{100}\frac{U_{nom4}^2}{S_{nom4}}(\mathrm{k}_{\mathrm{t2}})^2 = \frac{10.5}{100}\frac{35^2}{60}\left(\frac{220}{38.5}\right)^2 = 70\,Om,$$

$$x_{11} = \frac{x_R\%}{100}\frac{U_{nom}}{\sqrt{3}l_{nom}}(\mathrm{k}_{\mathrm{t4}}k_{t2})^2 = \frac{5}{100}\frac{6}{\sqrt{3}\cdot 0.5}\left(\frac{35}{6.6}\frac{220}{38.5}\right)^2 = 318\,Om.$$

Generatorun EHQ – nin faza qiyməti

$$\mathrm{E}_q^{//} = U_{nom}k_{t1} = 15.75\frac{242}{\sqrt{3}\cdot 15.75} = \frac{242}{\sqrt{3}} = 139.8\,kV.$$

K1 nöqtəsində başlanğıc ifratkeçirici cəryanı:

$$I''_{K1} = \frac{E''_q}{x_{1\Sigma}} = \frac{132.8}{175.3} = 0.79\,kA,$$

burada $x_{1\Sigma} = x_1 + x_2 + x_3 \,//\, x_4 + x_5 + x_7 = 175\,Om.$

K3 (38.5 kV) pilləsinə gətirilmiş cərəyan:

$$\bar{I}''_{K1} = I''_{K1}\frac{1}{k'_{t2}} = 0.79\frac{220}{38.5} = 4.5\,kA,$$

$$I''_{K2} = \frac{E''_q}{x_{2\Sigma}} = \frac{139.8}{298.3} = 0.47\,kA,$$

burada $x_{2\Sigma} = x_1 + x_2 + x_3 \,//\, x_4 + x_5 + x_6 + x_8 = 298.3\,Om.$

K3 (11 kV) pilləsinə gətirilmiş cərəyan:

$$\bar{I}''_{K2} = I''_{K2}\frac{1}{k'_{t2}} = 0.47\frac{220}{11} = 9.4\,kA,$$

$$I''_{K3} = \frac{E''_q}{x_{3\Sigma}} = \frac{139.8}{955.3} = 0.146\,kA,$$

burada $x_{3\Sigma} = x_1 + x_2 + x_3 \,//\, x_4 + x_5 + x_7 + x_9 + x_{10} + x_{11} = 955.3\,Om.$

K3 (6.6 kV) pilləsinə gətirilmiş cərəyan:

$$\bar{I}''_{K3} = I''_{K3}\frac{1}{k'_{t4}} = 0.146\frac{220}{38.5}\frac{35}{6.6} = 4.4\,kA,$$

3. Adlı vahidlərdə təqribi gətirilmələr

Müəyyən olunmuş şkalaya müvafiq olaraq transformasiya pillələrinin orta nominal gərginliyi:

$$U_1 = 15.75\,kV,\ U_2 = 230\,kV,\ U_3 = 10.5\,kV,\ U_4 = 37\,kV,\ U_6 = 6.3\,kV.$$

230 kV pilləsinin gətirilməsi müqavimətlərin aşağıdakı qiymətlərini verir:

$$x_1 = 0.15\frac{230^2}{176.5} = 45\,Om, \qquad x_2 = \frac{12}{100}\frac{230^2}{180} = 35.4\,Om,$$

$$x_3 = x_4 = 0.4 \cdot 110 = 45\,Om,$$

$$x_5 = \frac{12}{100}\frac{230^2}{90} = 70.7\,Om, \qquad x_6 = \frac{8}{100}\frac{230^2}{90} = 47.1\,Om,$$

$$x_7 = 0, \qquad x_8 = 0.08 \cdot 2.5\left(\frac{230}{10.5}\right)^2 = 96\,Om,$$

$$x_9 = 0.4 \cdot 30\left(\frac{230}{37}\right)^2 = 463\,Om, \qquad x_{10} = \frac{10.5}{100}\frac{37^2}{60}\left(\frac{230}{37}\right)^2 = 92.6\,Om,$$

$$x_{11} = \frac{5}{100}\frac{6}{\sqrt{3} \cdot 0.5}\left(\frac{230}{6.3}\right)^2 = 464\,Om.$$

Generatorun EHQ – nin faza qiyməti

$$E_q^{//} = 15.75\frac{230}{\sqrt{3} \cdot 15.75} = 132.5\,kV.$$

K1 nöqtəsində başlanğıc ifratkeşirici cərəyan

$$\bar{I}_{K1}^{//} = \frac{132.5}{173.1} = 0.76\,kA,$$

burada $x_{\Sigma 1} = 45 + 35.4 + \frac{44}{2} + 70.7 = 173.1\,Om.$

K3 (37 kV) pilləsinə gətirilmiş cərəyan

$$\bar{I}_{K1}^{//} = 0.76\frac{230}{37} = 4.72\,kA,$$

K2 nöqtəsində

$$\bar{I}_{K2}^{//} = \frac{132.5}{316.2} = 0.42\,kA,$$

burada $x_{\Sigma 2} = 45 + 35.4 + \frac{44}{2} + 70.7 + 47.1 + 96 = 316.2\,Om.$

K3 (10.5 kV) pilləsinə gətirilmiş cərəyan

$$\bar{I}_{K2}^{//} = 0.42\frac{230}{10.5} = 9.18\,kA,$$

*K*3 nöqtəsində

$$\bar{I}_{K3}^{//} = \frac{132.5}{1192.7} = 0.11\,kA,$$

burada $x_{\Sigma 3} = 45 + 35.4 + \frac{44}{2} + 70.7 + 463 + 92.6 + 464 = 1192.7\,Om.$

K3 (6.3 kV) pilləsinə gətirilmiş cərəyan

$$\bar{I}_{K3}^{//} = 0.11\frac{230}{6.3} = 4.06\,kA,$$

4. Nisbi vahidlərdə dəqiq gətirilmələr

Bazis gücü kimi S_b =1000 MVA, bazis gərginliyi kimi isə U_{b1} = 220 kV qəbul edək. Başqa pillələrdəki bazis gərginlikləri:

$$U_{b2} = \frac{U_{b1}}{k_{t1}} = 220\frac{15.75}{242} = 14.3\,kV, \qquad U_{b3} = \frac{U_{b1}}{k_{t2or}} = 220\frac{38.5}{220} = 38.5\,kV,$$

$$U_{b4} = \frac{U_{b1}}{k_{t2a\ell}} = 220\frac{11}{220} = 11\,kV, \qquad U_{b5} = \frac{U_{b1}}{k_{t1}k_{t3}} = 220\frac{38.5}{220}\cdot\frac{6.6}{35} = 7.26\,kV,$$

K3 pilləsində bazis cərəyanı:

$$I_{b3} = \frac{S_b}{\sqrt{3}\cdot U_{b3}} = \frac{1000}{\sqrt{3}\cdot 385} = 15\,kA,$$

$$I_{b4} = \frac{S_b}{\sqrt{3}\cdot U_{b4}} = \frac{1000}{\sqrt{3}\cdot 11} = 52.5\,kA,$$

$$I_{b5} = \frac{S_b}{\sqrt{3}\cdot U_{b5}} = \frac{1000}{\sqrt{3}\cdot 7.26} = 79.5\,kA.$$

Reaktiv müqavimətlərin nisbi qiymətləri:

$$x_1 = x_d^{//}\frac{S_b}{S_{nom}}\left(\frac{U_{nom}}{U_{b2}}\right)^2 = 0.15\frac{1000}{176.5}\left(\frac{15.75}{14.3}\right)^2 = 1.03,$$

$$x_2 = \frac{\mathrm{U_k}\,\%}{100}\frac{\mathrm{S_b}}{\mathrm{S_{nom}}}\left(\frac{U_{a\ell}}{U_{b1}}\right)^2 = \frac{12}{100}\frac{1000}{180}\left(\frac{242}{220}\right)^2 = 0.81,$$

$$x_3 = x_4 = x_0 l_1 \frac{S_b}{U_{b1}^2} = 0.4 \cdot 110 \frac{1000}{220^2} = 0.91,$$

$$x_5 = \frac{\mathrm{U_{Ky}}\,\%}{100}\frac{\mathrm{S_b}}{\mathrm{S_{nom}}}\left(\frac{U_{nom}}{U_{b1}}\right)^2 = \frac{12}{100}\frac{1000}{90} = 1.33,$$

$$x_6 = \frac{\mathrm{U_{Ka\ell}}\,\%}{100}\frac{\mathrm{S_b}}{\mathrm{S_{nom}}}\left(\frac{U_{nom}}{U_{b1}}\right)^2 = \frac{8}{100}\frac{1000}{180} = 0.89,$$

$$x_7 = 0, \quad x_8 = x_0 l_4 \frac{S_b}{U_{b4}^2} = 0.08 \cdot 2.5 \frac{1000}{11^2} = 1.65,$$

$$x_9 = x_0 l_3 \frac{S_b}{U_{b3}^2} = 0.4 \cdot 30 \frac{1000}{38.5^2} = 8.1,$$

$$x_{10} = \frac{\mathrm{U_K}\,\%}{100}\frac{\mathrm{S_b}}{\mathrm{S_{nom}}}\left(\frac{U_{nom}}{U_{b3}}\right)^2 = \frac{10.5}{100}\frac{1000}{60}\left(\frac{35}{38.5}\right)^2 = 1.45,$$

$$x_{11} = \frac{\mathrm{x_R}\,\%}{100}\frac{\mathrm{I_{b5}}}{\mathrm{I_{nom}}}\frac{U_{a\ell}}{U_{b5}} = \frac{5}{100}\frac{79.5}{0.5}\frac{6}{7.26} = 6.56.$$

EHQ – nin nisbi qiymәti

$$\mathrm{E}_q^{//} = \frac{15.75}{14.3} = 1.1.$$

$K1$ nüqtәsindә başlanğıc ifratkeçirici cәrәyan

$$\mathrm{I}_{\mathrm{K1}}^{//} = \frac{\mathrm{E_q^{//}}}{\mathrm{x_{\Sigma 1}}} = \frac{1.1}{3.62} = 0.3,$$

burada $x_{\Sigma 1} = 1.03 + 0.81 + \frac{0.91}{2} + 1.33 = 3.62.$

Adlı vahidlərdə qısaqapanma (QQ) cərəyanın qiyməti

$$I''_{K1} = I''_{K1} I_{b3} = 0.3 \cdot 15 = 4.5\,kA,$$

*K*2 nöqtəsində

$$I''_{K2} = \frac{E''_q}{x_{\Sigma 2}} = \frac{1.1}{6.16} = 0.18,$$

burada $x_{\Sigma 2} = 1.03 + 0.81 + \frac{0.91}{2} + 1.33 + 0.89 + 1.65 = 6.16.$

Adlı vahidlərdə cərəyanın qiyməti

$$I''_{K2} = I''_{K2} I_{b4} = 0.18 \cdot 52.5 = 9.4\,kA,$$

*K*3 nöqtəsində

$$I''_{K3} = \frac{E''_q}{x_{\Sigma 3}} = \frac{1.1}{19.73} = 0.056,$$

burada $x_{\Sigma 3} = 1.03 + 0.81 + \frac{0.91}{2} + 1.33 + 8.1 + 1.45 + 6.56 = 19.73.$

Adlı vahidlərdə qısaqapanma (QQ) cərəyanın qiyməti

$$I''_{K3} = I''_{K3} I_{b5} = 0.056 \cdot 79.5 = 4.4\,kA.$$

5. Nisbi vahidlərdə təqrbi gətirilmələr

Təqribi gətirilmə zamanı hər bir pillədə bazis gərginliyi həmin pillənin orta nominal gərginliyinə bərabər olacaqdır:

$$U_{b1} = 230\,kV,\ U_{b2} = 15.75\,kV,\ U_{b3} = 37\,kV,\ U_{b4} = 10.5\,kV,\ U_{b6} = 6.3\,kV.$$

S_b = 1000 MVA zamanı QQ pillələrində bazis cərəyanları aşağıdakı kimi hesablanır:

$$I_{b3} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 37} = 15.6\,kA, \qquad I_{b4} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 10.5} = 55\,kA,$$

$$I_{b5} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 6.3} = 91.5\,kA.$$

Bu halda müqavimətlərin hesablanması xeyli sadələşir:

$$x_1 = x_d^{//}\frac{S_b}{S_{a\ell}} = 0.15\frac{1000}{176.5} = 0.85, \qquad x_2 = \frac{12}{100}\frac{1000}{180} = 0.67,$$

$$x_3 = x_4 = 0.4\cdot 110\frac{1000}{2302} = 0.83, \qquad x_5 = \frac{12}{100}\frac{1000}{90} = 1.33,$$

$$x_6 = \frac{1}{100}\frac{1000}{90} = 0.9, \quad x_7 = 0, \qquad x_8 = 0.88\cdot 2.5\frac{1000}{10.5} = 1.82,$$

$$x_9 = 0.4\cdot 30\frac{1000}{37^2} = 8.8, \quad x_{10} = \frac{10.5}{100}\frac{1000}{60} = 1.75, \quad x_{11} = \frac{5}{100}\frac{91.5}{0.5}\frac{6}{6.3} = 8.7.$$

EHQ – nin nisbi qiymәti

$$E_q^{//} = \frac{15.75}{15.75} = 1.$$

K1 nöqtәsindә başlanğıc ifratkeçirici cәrәyan

$$I_{K1}^{//} = \frac{1}{3.26} = 0.3.$$

burada $x_{\Sigma 1} = 0.85 + 0.67 + 0.415 + 1.33 = 3.26.$

Adlı vahidlәrdә cәrәyanın qiymәti

$$I_{K1}^{//} = 0.3\cdot 15.6 = 4.8kA,$$

K2 nöqtәsindә

$$I_{K2}^{//} = \frac{1}{5.97} = 0.167,$$

burada $x_{\Sigma 2} = 0.85 + 0.67 + 0.415 + 1.33 + 0.89 + 1.82 = 5.97,$

$$I_{K2}^{//} = 0.167\cdot 55 = 9.2kA,$$

K3 nöqtәsindә

$$I_{K3}^{//} = \frac{1}{22.5} = 0.044,$$

burada $x_{\Sigma 3} = 0.85 + 0.67 + 0.415 + 1.33 + 8.8 + 1.75 + 8.7 = 22.5,$

$$I_{K3}^{//} = 0.044\cdot 91.5 = 4.1kA,$$

Elektrik şəbəkəsinin parametrlərinin gətirilməsi zamanı QQ nöqtəsində adlı və nisbi vahidlərdə hesablanmış qısaqapanma cərəyanları (kA) aşağıda verilib.

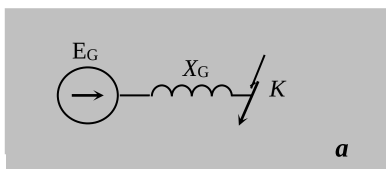
Gətirmə	K1		K2		K3	
Dəqiq	4.50	4.50	9.40	9.40	4.40	4.40
Təqribi	4.72	4.80	9.12	9.20	4.06	4.1

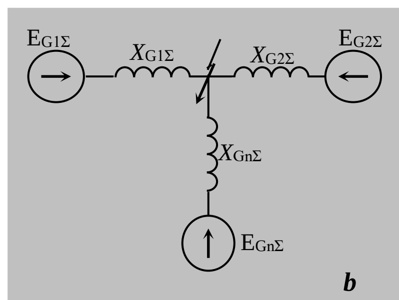
3.3. ƏVƏZ SXEMLƏRİNİN ÇEVRİLMƏSİ

Əvəz sxeminin çevrilməsinin məqsədi onu sadə şəkilə gətirməkdir (şəkil 3.3).

Adi elektrik dövrələrinin hesablamalarında istifadə edilən çevirmələrə ekvivalent EHQ –nin tapılması, ardıcıl və paralel müqavimətlərin toplanmsı, üçbucaq birləşmənin ulduza və əksinə, çoxsualı ulduzun tam çox bucaqlıya çevrilməsi daxildir. Belə çevrilmələr üçün formulalar *Əlavə 5 - də* verilib.

Əgər əvəz sxeminin tərkibində parametrləri biri – birindən xeyli fərqlənən mənbələr olarsa, o zaman onlar elə qruplaşdırılır ki, hər bir qrupun tərkibində parametrləri biri – birinə yaxın mənbələr olsun. O zaman istənilən əvəz sxeminin gətirildiyi sadə sxem 3.3, *b* –də göstərilən şəkildə olar (n qrup mənbə nəzərdə tutulur). Qısaqapanmanın hesablanması üçün əvəz sxeminin çevrilməsi üzrə əlavə tövsiyələr [2, səh. 46 – 48] –də verilib.

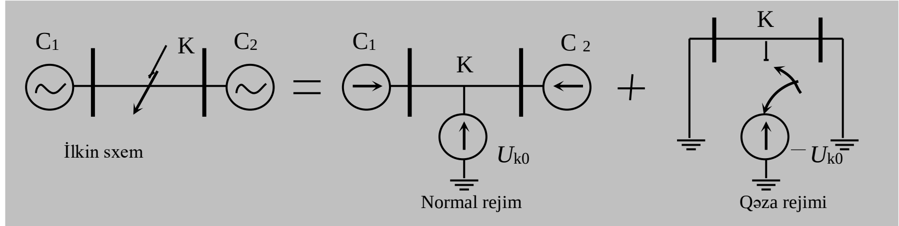




Şəkil 3.3. Bir (*a*) və *n* (*b*) – qrup mənbədən ibarət sistemin əvəz sxeminin çevilməsi

Qısaqapanmanın hesablanması zamanı istifadə olunan müxtəlif formalı toplama prinsipinə xüsusi fikir vermək lazımdır [2]. QQ –nin hesabatlarını aparаrkən çox zaman xüsusən qəza rejiminin ondan əvvəlki normal rejimin toplanmasından istifadə edirlər (şəkil 3.4).

Nəzərdə tutulur ki, əgər QQ nöqtəsinə iki eyni, lakin istiqamətcə əks olan EHQ: $+U_{ko}$ və $-U_{ko}$ (bundan əvvəlki qısaqapanma rejimində K nöqtəsindəki gərginliklərdir) qoşularsa, o zaman üçfazalı QQ –nin şərtləri dəyişməyəcək.



Şəkil 3.4. Toplama (bir yerə yığma) prinsipi

QQ rejimini iki yerə bölmək olar: normal və ya QQ–dən əvvəlki, və passiv sxemdə ancaq bir EHQ $-U_{ko}$ təsiri nəticəsində yaranan xüsusi qəza rejimi. Bu halda

$$\mathbf{I} = \mathbf{I}_o + \mathbf{I}_{qəza}, \qquad \mathbf{U} = \mathbf{U}_o + \mathbf{U}_{qəza},$$

burada $\mathbf{U}_{qəza}$, $\mathbf{I}_{qəza}$ – QQ cərəyanının qəza mürəkkəbələridir.

Belə toplama forması qəzadan əvvəlki rejim məlum olduğu halda münasibdir.

YOXLAMA SUALLARI

1. Prinsipial və hesabat əvəz sxemləri nə deməkdir?
2. Nisbi vahidlər sisteminin əsas üstünlükləri hansılardır?
3. Sxemin parametrlərinin dəqiq və təqribi gətirilmələri nə deməkdir?
4. Bazis gərginliyində transformasiya əmsalının daxil edilməsinin üstünlükləri hansılardır?
5. Müxtəlif növ keçid proseslərinin hesabatında sxemin əsas elementlərinin hansı əvəz sxemləri vardır?
6. Keçid proseslərinin hesabatı zamanı istifadə olunan sadələşdirilmələri bir – bir sayın və hər bir sadələşdirmənin hesabatın dəqiqliyinə təsirini izah edin.

F ə s i l 4

ELEKTRİK ŞƏBƏKƏSİNDƏ ÜÇFAZALI QQ

Üçfazalı QQ zamanı elektromaqnit keçid proseinin xarakteri QQ nöqtəsinin qidalandırma mənbəindən hansı məsafədə olmasından asılıdır. Əvvəlcə qısaqapanma nöqtəsinin stansiyadan və sistemdən uzaqda olması variantına baxaq. Şəkil 3.2 –də verilmiş elektrik sisteminin sxemində belə bir nöqtə K3-dür. Qısaqapanmanın baş verdiyi 35 kV-luq xətt sistemdən və stansiyanın generatorlarından transformasiyanın ikinci pilləsində yerləşir. Bu xətt, elektriki cəhətdən qidalanma mənbəindən uzaqda yerləşdiyinə görə, xətdə və ondan aşağı elementlərində baş verən bütün qəzalar sistemin generatorlarının işinə demək olar ki, təsir etmir. Bu şərait sistemin transformasiyasının yüksək pilləsində (şəkil 3.2 –dəki sxemdə 220 kV) gərginliyin dəyişməz olmasını qəbul etməyə imkan verir. T–2 transformatorunun yüksək gərginlik şini d ə y i ş m ə z g ə r g i n l i k l i ş i n və ya 35 kV ondan aşağı gərginlikli şəbəkələr üçün s o n s u z g ü c ş i n i (SGŞ) adlanır.

4.1. SABİT GƏRGİNLİKLİ ŞİNDƏN QİDALANAN ELEMENTAR DÖVRƏDƏ ÜÇFAZALI QISAQAPANMA

Sabit gərginlikli şin (gərginliyi dəyişməyən şin) anlayışının elektrik sistemi sxeminə daxil edildiyini nəzərə alaraq şəkil 3.2 –də göstərilən elektrik sisteminin sxemini kifayət qədər sadələşdirərək şəkil 4.1, *a* –da təsvir olunan (*A6* açarının açılmış vəziyyətində) şəkildə göstərmək olar. Belə sadə sistemin əvəz sxemi üçxətli icrada şəkil 4.1, *b* –də göstərilib.

Bilavasitə açarda üçfazalı QQ zamanı keçid prosesinə baxaq. Qısaqapanmadan əvvəlki rejimin cərəyanı aşağıdakı kimi təyin oluna bilər:

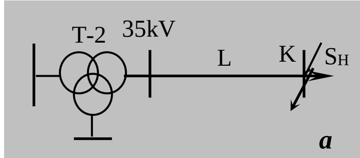
$$i_A = \frac{U_{A\max}}{Z_\Sigma}\sin(\omega t + \alpha - \varphi), \qquad (4.1)$$

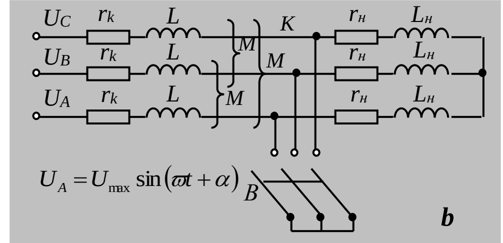
burada $\mathbf{Z}_\Sigma = \mathbf{Z}_{T\text{-}X} + \mathbf{Z}_Y$ – normal rejimdə sxemin yekun müqavimətidir;

φ – yekun müqavimət $\mathbf{Z}_{\Sigma}$ –in arqumentidir;

α – gərginliyin fazasıdır.

Beləliklə, $\mathbf{U}_A$, $\mathbf{U}_B$, $\mathbf{U}_C$, $\mathbf{I}_A$, $\mathbf{I}_B$, $\mathbf{I}_C$ vektorları (şəkil 4.2) baxılan sxemin QQ –dan əvvəlki rejimində gərginliklərin və cərəyanların amplitud qiymətinin vektorlarıdır. Əgər *tt* şaquli xəttin tərpənməz xətdirsə, onda gərginlik və cərəyan vektorlarının bu xəttə proyeksiyası onların ani qiymətlərini müəyyən edəcək. Horizontalla $\mathbf{U}_A$ vektoru arasındakı α bucağı QQ –nin q o ş u l m a f a z a s ı adlanır.





Şəkil 4.1. Elementar sistemin prinsi – pial (*a*) və onun əvəz sxemləri (*b*)

A açarı qoşulduqdan sonra QQ nöqtəsi ilə sxem iki hissəyə bölünür: sağ və sol. Sxemin sağ tərəfində cərəyan o vaxta qədər mövcud olacaqdır ki, L_Y induktivliyində yığılmış enerji r_y müqavimətində istiliyə çevrilmiş olsun. Bu sahənin hər bir fazasında müvazinətin (tarazlığın) diferensial tənliyi aşağıdakı şəkildə olacaq

$$ir_H + L_H \frac{di}{dt} = 0.$$

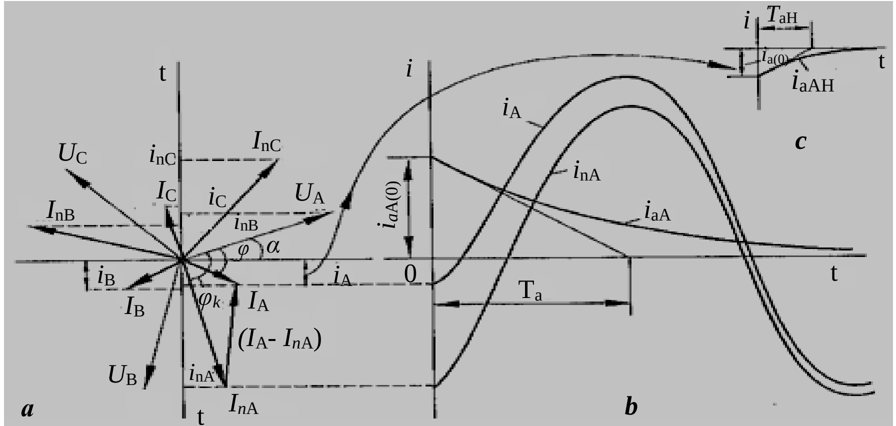
Bu tənliyin həlli hamı tərəfindən qəbul olunub:

$$i = i_0 e^{\frac{1}{T_{a.н}}}.$$

O, göstərir ki, sxemin bu hissəsində yalnız aşağıda verilən formula ilə təyin olunan zaman sabiti ilə sönən sərbəst cərəyan vardır:

$$T_{a.y} = \frac{L_y}{r_y} = \frac{x_y}{\omega r_y}.$$

Zaman sabiti T_a ədədi qiymətcə aperiodik cərəyanın *e* dəfə sönməsinə və ya onun öz başlanğıc qiymətindən 0,368 –ə qədər azalmasına sərf olunan müddətdir. Bunula yanaşı sağ tərəfdəki hər bir fazanın sərbəst cərəyanın başlanğıc qiyməti QQ –dən əvvəlki cərəyanın ani qiymətinə bərabərdir, çünki cəryanın induktiv müqavimətdə sıçrayışla dəyişməsi baş verə bilməz (şəkil 4.2, *c*).



Şəkil 4.2. Elementar sistemin vektor diaqramı (*a*) və sxemin sol və sağ hissəsində cərəyanların dəyişməsi (*b, c*)

Sxemin sol tərəfində sərbəst cərəyandan əlavə yeni məcburi cərəyan yaranır və baxılan sistemin yekun müqavimətinin azalması səbəbindən, bu cərəyan QQ –dən əvvəlki cərəyandan çox olacaq. Bu hissənin *A* fazası üçün tarazlığın diferensial tənliyi aşağıda verilən şəkildə olacaq

$$U_A = L\frac{di_A}{dt} + M\frac{di_B}{dt} + M\frac{di_C}{dt} + r_k i_k. \qquad (4.2)$$

Simmetrik rejimdə $i_A = -(i_B + i_C)$ olduğunu nəzərə alaraq, (4.2) ifadəsini başqa formada göstərmək olar:

$$U_A = ir_K + L_K\frac{di}{dt}. \qquad (4.3)$$

Bu hər bir faza üçün doğrudur. Burada $L_k = L - M$ fazanın yekun induktivliyidir.

(4.3) formulasının həlli aşağıdakı şəkildədir:

$$i = \frac{U_{\max}}{Z_{\Sigma K}} \sin(\omega t + \alpha - \varphi_k) + i_{\alpha(0)} e^{\frac{t}{T_a}} \qquad (4.4)$$

burada $Z_{\Sigma K}$ – dövrənin qısaqapanmış hissəsinin tam müqavimətidir,

φ_k – bu dövrədə cərəyanın sürüşmə bucağı Z_K;

T_α – qısaqapanmış dövrənin zaman sabitidir.

(4.4) ifadəsinin birinci toplananı cərəyanın periodik (məcburi) təşkiledicisi, ikinci toplanan isə aperiodik (sərbəst) mürəkkəbəsidir. Sərbəst mürəkkəbənin başlanğıc qiyməti QQ –nin başlanğıc şərtlərindən təyin edilir: bundan əvvəlki rejimin cərəyanı (i_0) periodik və aperiodik mürəkkəbələrin başlanğıc cərəyanları qiymətinin cəminə bərabərdir, yəni

$$i_0 = i_{p(0)} + i_{a(0)},$$

(4.1) və (4.4) ifadələrindən istifadə edərək, buradan $i_{\alpha(0)}$ –nı təyin etmək olar:

$$i_{a(0)} = i_0 + i_{n0} = I_{\max} \sin(\alpha - \varphi) - I_{n\max} \sin(\alpha - \varphi_k), \qquad (4.5)$$

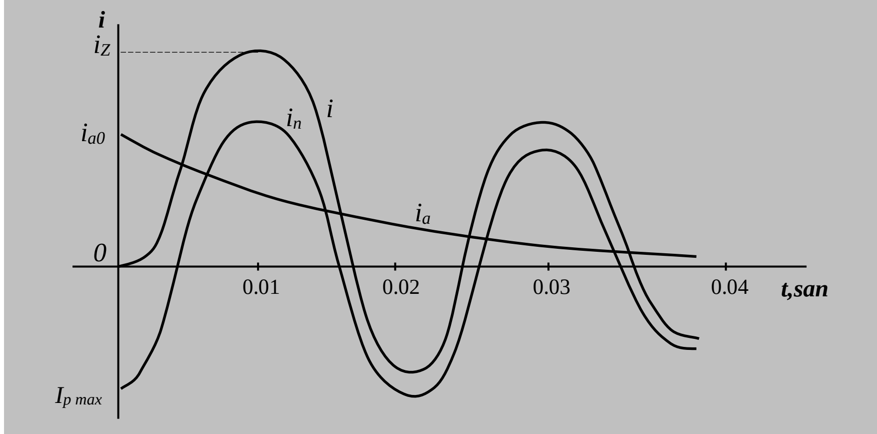
burada $I_{\max} = \frac{U_{\max}}{Z_{\Sigma}}; \quad I_{n\max} = \frac{U_{\max}}{Z_{\Sigma K}}.$

Qayıdaq vektor diaqramına (şəkil 4.2, *a*). i_{PA}, i_{PB}, i_{PC}, həmçinin i_A, i_B, i_C cərəyanları $\mathbf{I}_{PA}$, $\mathbf{I}_{PB}$, $\mathbf{I}_{PC}$, $\mathbf{I}_A$, $\mathbf{I}_B$, $\mathbf{I}_C$ vektorlarının *tt* şaquli oxuna proyeksiyalarıdır. Hər bir fazada cərəyanın sərbəst təşkiledicilərinin vektorları ($\mathbf{I}_{max}$ – $\mathbf{I}_{pmax}$) keçid prosesinin istənilən zaman anında fazanın sərbəst cərəyanlarının ani qiyməti ilə təyin olunur. Əgər ($\mathbf{I}_{max}$ – $\mathbf{I}_{pmax}$) vektoru *tt* oxuna paralel olarsa, istənilən fazanın sərbəst cərəyanı çox böyük, yaxud bu vektor oxa perpendikulyar olarsa cərəyan sıfıra bərabər ola bilər.

Şəkil 4.2, *b* –də A fazasında QQ cərəyanın dəyişmə əyriləri və zaman üzrə onun mürəkkəbələri göstərilmişdir. Buradan görsənir ki, cərəyanın aperiodik mürəkkəbəsinin başlanğıc qiyməti nə qədər böyük olarsa, zaman oxuna nisbətən tam cərəyanın əyrisi bir o qədər sürüşmüş olar və QQ –nin maksimal cərəyanı da bir o qədər çox olar. (4.5) ifadəsindən göründüyü kimi, aperiodik mürəkkəbəninin ən böyük başlanğıc qiyməti QQ –nin qoşulma fazası α –nın və QQ –dən əvvəlki rejimin cərəyanının amplitud qiyməti I_{max} ilə təyin olunur. $I_{max} = 0$ (bundan avvəlki rejimdə yüksüz işləmə) və $\alpha = 0$ (*A* fazasının gərginlik vektoru sıfırdan keçir) zamanı əgər QQ anında $i_{\alpha(0)}$, toplananının *tt* oxuna proyeksiyası maksimuma

çatarsa, onda $i_{\alpha(0)}$ –nın qiyməti periodik müərəkkəbənin amplitud qiymətinə çatacaq. Vacib hal ondan ibarətdir ki, qısaqapanma dövrəsində aktiv müqavimət arqumenti $Z_K - \varphi_K = 90^o$ –dir.

Praktiki hesabatlarda QQ –nin tam cərəyanının maksimal ani qiymətini ən böyük aperiodik mürəkkəbədə tapırlar. Bu ən böyük qiymət QQ –nın z ə r b ə c ə r ə y a n ı adlanır. Onun təyin edilmə şərtləri açağıdakılardır (şəkil 4.3):



Şəkil 4.3. Zərbə cərəyanının təyin olunması

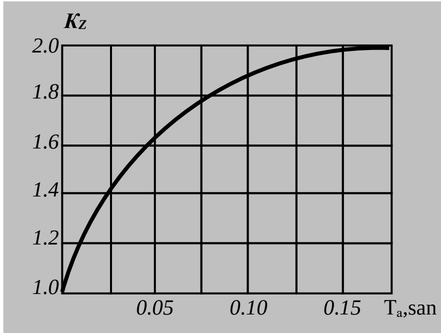
$$a = 0, \qquad I_{max} = 0.$$

Bu şərtlər nəzərə alınmaqla QQ –nın zərbə cərəyanı üçün ifadəni aşağıdakı kimi yazmaq olar :

$$i_Z = I_{p\max} + I_{p\max} e^{\frac{0.01}{T_a}} = K_y I_{p\max} = \sqrt{2} I_p K_y \qquad (4.6)$$

burada $K_Z = 1 + e^{-0.01/T}$ – zərbə əmsalı;

I_p – QQ –nin başlanğıc anında cərəyanın periodik təşkiledicisinin təsiredici qiymətidir.



Şəkil 4.4. Zərbə əmsalının T_a zaman sabitindən asılılığı

Zərbə əmsalının zaman sabiti T_α – dan asılılığı şəkil 4.4 –də göstərilib. Zaman sabiti T_α ($\infty > T_\alpha > 0$) həddində dəyişməsi zamanı zərbə əmsalı K_Z, $2 > K_Z > 1$ həddində dəyişir. Zaman sabiti T nə qədər kiçik olarsa aperiodik mürəkkəbə bir o K_Z –nin zaman qədər tez sönər və zərbə əmsalı da o qədər kiçik olar. Yüksək gərginlikli şəbəkələrdə (35kV və ondan yüksək) aperiodik mürəkkəbəsi 0,1÷0,3 san–dən sonra yox olur, alçaq gərginlik şəbəkələrində isə o hiss edilmir.

4.2. TAM CƏRƏYANIN ƏN BÖYÜK TƏSİREDİCİ QİYMƏTİ

Cərəyanın təsiredici qiyməti – zaman istənilən anında cərəyanın bir periodu (T) ərzindəki orta kvadratik qiymətinə deyilir və bu periodun ortasında baxılan t zaman anı yerləşir. Qısaqapanmanın tam cərəyanının ən böyük təsiredici qiyməti I_t keçid prosesinin birinci periodu (t = 0.01 san) ərzində təyin edilir və aşağıdakı kimi yazılır:

$$I_t = \sqrt{I_p^2 + I_a^2} = \sqrt{I_p^2 + (I_p\sqrt{2}e^{-0.01/T_a})^2} = I_p\sqrt{1 + 2e^{-0.01/T_a}}, \qquad (4.7)$$

burada $I_p = I_{p\max}/\sqrt{2}$ – QQ cərəyanının periodik təşkiledicisinin təsiredici qiymətidir.

(4.7) ifadəsinin göründüyü kimi I_t/I_p nisbəti $\sqrt{3} > I_t/I_p > 1$ həddində yerləşir və T_α –nın 0–dan ∞–a qədər dəyişməsiilə təyin olunurlar.

4.3. EKVİVALENT ZAMAN SABİTİ

Budaqlanmış şəbəkədə zərbə cərəyanının hesablanması zamanı QQ cərəyanının aperiodik mürəkkəbəsi $T_{\alpha\ ekv}$ – zaman sabiti ilə eksponensial söndüyü nəzərdə tutulur və bu zaman sabiti aşağıdakı ifadə ilə təyin olunur:

$$T_{a\ \ ekv} = \frac{x_{\Sigma\ \ (r=0)}}{\omega\, r_{\Sigma\,(x=0)}}, \qquad (4.8)$$

burada $x_{\Sigma\ \ (r=0)}$ və $r_{\Sigma\,(x=0)}$ –qidalanma mənbəi ilə QQ nöqtəsi arasında olan yekun müqavimətdir və əvəz sxeminə hər bir elementin özünün ya aktiv, və ya reaktiv müqavimətləri ilə daxil edildiyi nəzərdə tutularaq hesablanır [2]. Ekvivalent zaman sabitinin belə qiymətləndirilməsi elektrotexnikanın nəzəri əsaslarının qanunlarına ziddir və praktiki nöqteyi nəzərdən qəbul edilən sadələşdirmədir.

Budaqlanmış şəbəkədə QQ –nin zərbə cərəyanının hesabatı üsulu QQ nöqtəsinin qidalandırma mənbəindən nə qədər uzaqda yerləşməsi ilə təyin olunur.

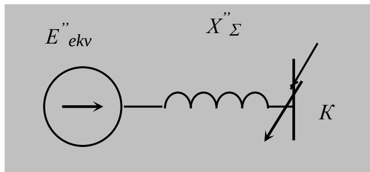
Hesabatın iki variantı mümkündür:

1. Əgər QQ nöqtəsi qidalandırma mənbəindən xeyli uzaqdadırsa, o zaman hesabat sxemi sadə şəkilə çevriləcək (şəkil 4.5). Bu halda ekvivalent zaman sabiti (4.8) formulası ilə qiymətləndirilir və zərbə cərəyanı aşağıdakı kimi hesablanır:

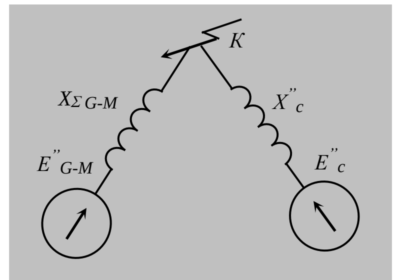
$$i_z = I_{\max} + I_{p\max} e^{\frac{0.01}{T_{a\ \ экв}}} = \frac{E^n_{ekv}\sqrt{2}}{x^n_{\Sigma}}\left(1 + e^{\frac{0.01}{T_{a\ \ экв}}}\right),$$

   burada $E^{//}_{ekv}$ – ekvivalent EHQ – nin təsiredici qiymətidir.

2. Əgər QQ nöqtəsi generatora və ya böyük mühərrikə yaxın yerdə yerləşirsə, onda i_z –nin hesabatı üçün əvəz sxemi elə çevrilməlidir ki, yuxarıda qeyd olunan generatorlar və mühərriklər ayrı budaqda birləşdirilsinlər (şəkil 4.6). Bu budağın EHQ –ni $E^{//}_{G\text{-}M}$ ilə işarə edək. Yerdə qalan enerji mənbələrini ayrı bir budaqla birləşdirirlər $E^{//}_{C}$ və $X^{//}_{C}$. K nöqtəsində zərbə cərəyanı hər bir budaqdan olan zərbə cərəyanlarının cəmi formulası ilə hesablanır



Şəkil 4.5. Ekvivalent əvəz sxemi



Şəkil 4.6. Generatora yaxın QQ zamanı ekvivalent əvəz sxemi

$$i_z = \sqrt{2}\left(K_{yG-M} I_{G-M} + K_{y.C} I_C\right),$$

burada $I_{G\text{-}M}$ və I_C – hər bir budaqdakı QQ cərəyanının periodik toplananının təsiredici qiymətidir;

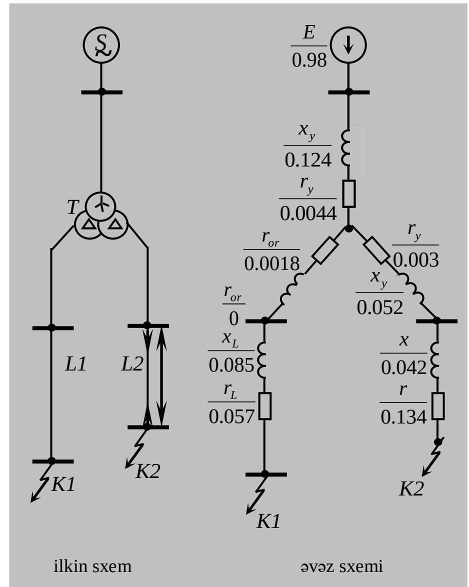
$$K_{yG-M} = 1 + e^{\frac{0.01}{T_{a\,G-M}}}; \qquad K_{y.c} = 1 + e^{\frac{0.01}{T_{a.c}}};$$

burada $T_{y.G\text{-}M}$ və $T_{y.c}$ – hər bir budaqdakı QQ cərəyanının aperiodik mürəkkəbələrinin sönməsinin ekvivalent zaman sabitidir. Ekvivalent sxemin elementlərinin aktiv müqavimətinin qiymətləndirilməsi texniki ola bilər. Əsas elementlərin x/r –nin təqribi nisbətləri [2, cədvəl 6.2] –də verilib.

M ə s ə l ə 4.1. Alçaldıcı transformator T: 63 MVA, 150/38.5/11 kV, $U_{y.o}$ = 12.4 %, $U_{y.a}$ = 17.6 %, $U_{o.a}$ = 5.2%, $P_{K\,y.o}$ = 380 kVt, $R_{K\,y.a}$ = 460 kVt, $R_{K\,o.a}$ = 300 kVt, sistemin xətt gərginliyi praktiki olaraq dəyişməz və 158kV–a bərabər olan qovşağına qoşulmuşdur.

Transformatorun orta gərginliyinə AC – 120 markalı (x = 0.4 Om/km və r = 0.27 Om/km) məftil də yerinə yetirilmiş L1 xətti birləşdirilmişdir. Alçaq gərginlik tərəfinə АСБ – 3x120 (x=0.081 Om/km, və r = 0.258 Om/km) markalı kabel birləşdirilmişdir.

Transformatordan 5km aralıda hava xəttində üçfazalı qısaqapanma (K nöqtəsi) yaranıb. Bu qısaqapanma nəticəsində yaranan zərbə cərəyanını təyin etmək tələb olunur. Bundan başqa K_2 nöqtəsində qısaqapanma zamanı aperiodik təşkiledicinin söndürülməsinin zaman sabitinə T_a uyğun olan kabelin uzunluğunu K_2 və K_1 nöqtələrində zaman sabitlərinin bərabər – Liyi t əmin olunmaqla tapın.



ilkin sxem əvəz sxemi

H ə l l i . Bütün kəmiyyətləri transformatorun nominal qiymətlərinə gətirilmiş əvəz sxemini tərtib edək.

Transformatorun dolaqlarının induktiv və aktiv müqavimətləri

$$x_y = 0.5(0.124 + 0.176 - 0.052) = 0.124,$$

$$x_{or} = 0.124 - 0.124 = 0,$$

$$x_{a\ell} = 0.176 - 0.124 = 0.052,$$

$$r_y = 0.5\frac{(380 + 460 - 300)}{1000 \cdot 63} = 0.0044,$$

$$r_{or} = 0.0018, \qquad r_{a\ell} = 0.003.$$

Xətt üçün

$$x_L = 0.4 \cdot 5 \frac{63}{38.5^2} = 0.085,$$

$$r_L = 0.085 \frac{0.27}{0.4} = 0.057.$$

Kabel xətti üçün

$$x = 0.081 \frac{63}{11^2} = 0.042, \qquad r = 0.134,$$

K1 nöqtəsində qısaqapanma zamanı yekun müqavimətlər $x_\Sigma = 0.124 + 0.085 = 0.209,$ $r_\Sigma = 0.0044 + 0.0018 + 0.057 = 0.0637,$ onların nisbəti $x/r = 0.209/0.0637 = 3.28$ və $z_\Sigma = 6.37 + j20.9 = 0.219 e^{j73^o}$.

Qısaqapanma cərəyanının periodik mürəkkəbəsinin modulu

$$I_p = \frac{0.98}{0.219} = 4.5,$$

burada nisbi EHQ

$$E = \frac{148}{150} = 0.98,$$

Aperiodik mürəkkəbəsinin sönməsinin zaman sabiti

$$T_a = \frac{3.28}{314} = 0.0104 san.$$

Aperiodik müərkkəbənin ən böyük nisbi qiyməti zamanı yaranan qısaqapanma cərəyanının maksimal ani qiyməti həmin fazanın gərginliyinin sıfırdan keçdiyi zaman olacaq, yəni cərəyanın mürəkkəbəsainin nisbi vahidlərdə bu qiyməti aşağıdakına bərabər olacaq.

$$I_{a(0)} = 4.5 \sin 73^0 = 4.5 \cdot 0.96 = 4.32.$$

Cərəyanın maxsimal ani qiyməti

$$\frac{0+73}{180} 0.01 = 0.00 san$$

sonra yaranacaq və aşağıdakına bərabər olacaq

$$i_z = \sqrt{2} \frac{63}{\sqrt{3} \cdot 38.5} \left(4.5 + 4.32 e^{-0.009/0.0104}\right) = 8.4\, kA.$$

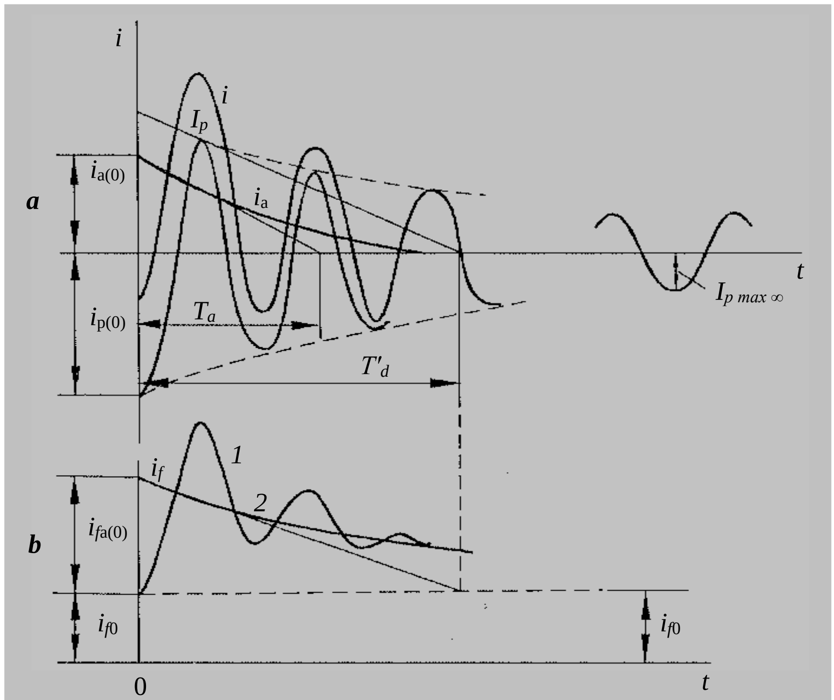
K2 nöqtəsində qısaqapanma zamanı T_a zaman sabiti 0.0104 san. bərabər olacaq. Bu K1 nöqtəsində x/r nisbəti də K2 nöqtəsindəkinə bərabər olduqda:

$$\frac{0.12 + 0.02 + 0.042l}{0.0044 + 0.003 + 0.134l} = 3.28,$$

buradan l = 0.38 km.

4.4. TƏSİRLƏNMƏSİ AVTOMATİK TƏNZİMLƏNMƏYƏN GENERATORUN SIXACLARINDA ÜÇFAZALI QQ

Üçfazalı metalik QQ zamanı QQ yerində gərginlik U = 0 olur. Normal rejimdən QQ rejiminə keçid, cərəyanın periodik mürəkkəbəsinin üzərinə aperiodik mürəkkəbənin əlavə olunması ilə müşayət olunur. Qütbləri aydın görünməyən generatorun sıxaclarında QQ zamanı rotor və stator cərəyanlarının dəyişmə əyriləri şəkil 4.7 –də göstərilib.



Şəkil 4.7. Generatorun sıxaclarında üçfazalı QQ zamanı stator (*a*) və rotor (*b*) cərəyanlarının dəyişmə əyriləri: *i* – tam cərəyan; i_p və i_a – periodik və aperiodik mürəkkəbələr; *1* – $i_f = i_{fp}$ + *2* - i_{fa} əyrisi

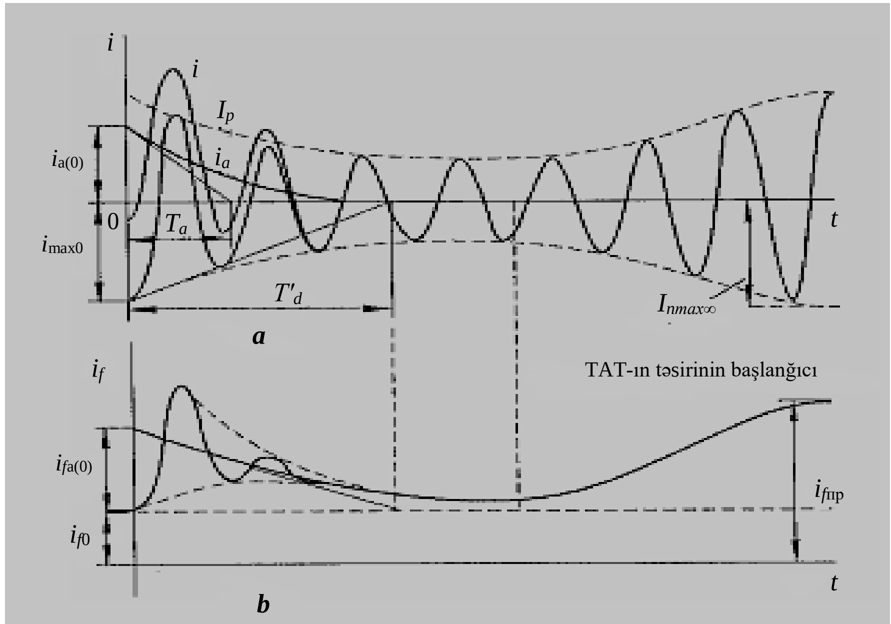
Stator cərəyanının periodik mürəkkəbəsi i_p $T^{//}_{\text{d}}$ zaman sabiti ilə sönən təsirlənmə dolağı cərəyanının aperiodik mürəkkəbəsinə $i_{fə}$–ə uyğundur. Stator cərəyanının aperiodik mürəkkəbəsi i_{a} isə T_{a} zaman sabiti ilə sönən təsirlənmə

dolağı cərəyanının periodik mürəkkəbəsi i_{ap} –ni yaradır. T_a zaman sabiti adətən $T^{//}_d$–dən xeyli azdır.

Generator məhdud güc mənbəyi olduğuna və təsirlənməninin avtomatik tənzimlənmə sistemi nənzərə alınmadığına görə, statorun reaksiya selini artıran rotorun sərbəst cərəyanı söndükçə hava aralığında olan yekun maqnit selini azaldacaq (şəkil 2.11, *ç*). Nəticədə statorda induksiyalanan EHQ azalacaq və buna müvafiq olaraq statorun periodik mürəkkəbəsi də azalacaqdır.

4.5. TƏSİRLƏNMƏSİ AVTOMATİK TƏNZİMLƏNƏN GENERATORUN SIXACLARINDA ÜÇFAZALI QQ

Qısaqapanmanın başlanğıc anında maşının dolaqları ilə ilişmiş maqnit sellərinin inersiyalı olmaları səbəbindən təsirlənmənin avtomatik tənzimlənməsinin



Şəkil 4.8. TAT qurğusu olan generatorun sıxaclarında üçfazalı QQ zamanı stator (*a*) və rotor (*b*) cərəyanının dəyişmə əyriləri

QQ cərəyanına təsiri olmur. Bundan sonra onun təsiri altında təsirlənmə cərəyanı artmağa başlayaraq generatorun EHQ –ni və stator cərəyanının periodik

mürəkkəbəsini artırır. Təsirlənmənin avtomatik tənzimlənməsinin (TAT) təsiri altında generatorun EHQ –nin artması həmin anda deyil, TAT –ın işə düşməsi üçün lazım olan müddət keçdikdən sonra başlayır. QQ cərəyanı TAT –ın təsir etməsinin başlanmasına qədər, eyni ilə TAT qur]usu olmayan haldakı kimi azalmağa başlayır, sonra isə artmağa başlayaraq qərarlaşmış qiymətə çatır. Generatorun sıxaclarında QQ zamanı cərəyanın qərarlaşmış qiyməti maşının son hədd təsirlənmə cərəyanının yaratdığı son hədd EHQ –yə uyğundur və aşağıdakı formula ilə hesablanır

$$I_\infty = \frac{E_{q\ s.h}}{x_d}.$$

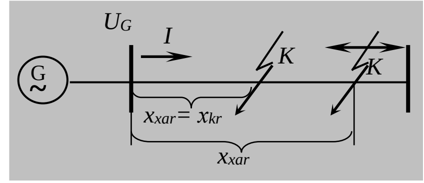
TAT qur]usu olan hal üçün stator və rotor cərəyanının dəyişməsi şəkil 4.8 – də göstərilib.

Keçid prosesi üç mərhələyə bölünə bilər. Birinci mərhələdə rotor və stator cərəyanları təsirlənmə cərəyanının tənzimlənməsi nəzərə alınmayan QQ zamanı mövcud olan cərəyanlardan fərqlənmirlər (şəkil 4.8). İkinci mərhələ təsirlənmə cərəyanının artırılması ilə başlanır və onun artması başa çatdıqdan sonra qurtarır. Üçüncü mərhələ qısaqapanmanın qərarlaşmış rejiminə uyğundur.

4.6. QISAQAPANMANIN QƏRARLAŞMIŞ REJİMİ

Keçid prosesinin qərarlaşmış rejimi elə rejimə deyilir ki, bu rejim zamanı QQ –nın başlanğıc anında yaranan bütün sərbəst cəryanlar sönür və TAT –ın fəaliyyəti qurtarır. Təsirlənmə tənzimləyiciləri təsirlənmə cərəyanını artıraraq generatorun xarici dövrəsində gərginliyin və cərəyanın artımını yaradır. Belə artımın dərəcəsi qısaqapanma yerinin uzaqlığından və generatorun parametrlərindən asılıdır. Əgər generatordan uzaqda olan QQ zamanı generatorun şinində nominal gərginliyi bərpa etmək üçün təsirlənmə cərəyanının bir az artırılması kifayət edirsə, QQ yeri generatorun şininə yaxınlaşdıqca təsirlənmə cərəyanı daha çox artırılması tələb olunur. Lakin, onun həddindən çox artırılması təsirlənmənin son (ən yüksək) həddinin ($I_{f\ sh}$ –nin) qiyməti ilə məhdudlaşır (bax 2.1.7 bölməsinə). Bu səbəbdən də hər bir generator üçün xarici reaktivliyin ən kiçik qiyməti təyin olunmalıdır (şəkil 4.9) ki, bu reaktivlikdən sonra QQ zamanı təsirlənmənin son həddi olduqda generatorun sıxaclarında nominal gərginlik təmin olunsun. Belə reaktivliyə – kritik reaktivlik, generatorun QQ cərəyanının isə kritik cərəyan deyilir və o aşağıdakı formula ilə təyin olunur.

$$I_{kr} = \frac{U_{nom}}{x_{kr}}.$$



Şəkil 4.9. Generatorun kritik reaktivliyinin təyin olunması üçün

Beləliklə, TAT qurğusu olan generator QQ zamanı ya n o r m a l g ə r g i n l i k ($x_{xar} > x_{kr}$ və $U_G = U_{nom}$ olduqda), və ya s o n h ə d d t ə s i – r l ə m ə rejimində ($x_{xar} < x_{kr}$ və $E_q = E_{q\,s.h}$ və $U_G < U_{nom}$ olduqda) işləyə bilər. Kritik reaktivlik aşağıda verilən tənliklərin birlikdə həll olunması ilə təyin oluna bilər.

$$E_{q\,\mathrm{sh}} = U_{nom} + \frac{U_{nom}}{x_{kr}} x_d, \quad U_{nom} = I_{kr} x_{kr}.$$

$E_{q\,\mathrm{sh}}$ – tənliyindən x_{kr} təyin edək

$$x_{\mathrm{kr}} = x_d \frac{U_{nom}}{E_{q\,sh} - U_{nom}}.$$

Kritik reaktivliyi bilərək və onu xarici reaktivliklə müqayisə edərək generatorun hansı rejimdə işlədiyini təyin etmək olar. Son hədd təsirlənmə rejimində generatorun nisbi nominal vahidlərdə QQ cərəyanı aşağıdakı formula ilə hesablanır

$$I_{\mathrm{qq}*nom} = \frac{E_{q\,sh*nom} I_{f\,sh*nom}}{x_d + x_{yg}},$$

nominal gərginlik rejimində isə aşağıdakı formula ilə hesablanır

$$I_{\mathrm{qq}*nom} = \frac{U_{n*nom}}{x_{yg}}.$$

QQ cərəyanının bu cür hesablanması sadə sxemlərdə, hər bir generator üçün xarici reaktivliyi təyin etmək mümkün olduqda yerinə yetirilir. Qapalı mürəkkəb sxemlərdə xarici reaktivlik anlayışı hər bir generator üçün əhəmiyyətini itirir. Bu

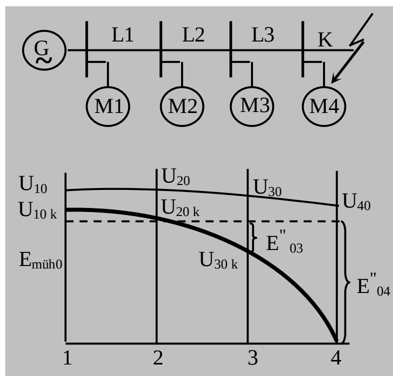
halda hesabat ardıcıl yaxınlaşma yolu ilə aparılır. Bunun üçün hər bir generator üçün onun QQ nöqtəsindən hansı məsafədə yerləşməsindən asılı olaraq ya normal gərginlik rejimi (generator sxemə $E_q = U_{nom}$, $x_G = 0$ ilə sxemə daxil edilir), və son hədd təsirlənmə rejimi (generator $E_{q\ yt}$ və x_d ilə əvəz olunur) sxemləri sərbəst seçilir. Bundan sonra sxemdə cərəyanın paylanması, generatorların həqiqi cərəyanları hesablanır və onların kritik cərəyanları ilə müqayisə olunur. Son hədd təsirlənmə rejimi üçün $I \geq I_{kr}$ şərti, normal gərginlik rejimi üçün isə $I \leq I_{kr}$ şərti yerinə yetirilməlidir. Əgər yoxlama zamanı bəzi generatorların rejimlərinin düzgün seçilmədiyi aşkar olunarsa, onlar dəyişdirildikdən sonra hesabat təkrar olunaraq yenidən yoxlama aparılır.

4.7. QISAQAPANMANIN BAŞLANĞIC İFRAT KEÇİD VƏ ZƏRBƏ CƏRƏYANLARININ HESABATI

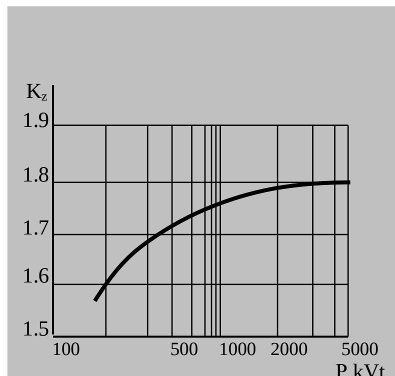
Praktiki hesabatlar zamanı bir sıra sənədləşdirmələr qəbul olunur ki, onlar hesabatın aparılmasını xeyli sadələşdirir. Belə sadələşdirilmələrdən biri uzununa (x''_d) və eninə (x''_q) ifrat keçid reaktivliklərinin bərabər, yəni $x''_d = x''_q$ olmasının qəbul olunmasıdır. Bu zaman ifrat keçid EHQ (2.27) ifadəsi və ya daha təqribi (2.28) formulaları üzrə təyin edilir. (2.27) ifadəsi sinxron generatorlar üçün istifadə olunarkən kök altında olan cərəyanın müqavimətə hasilinin qarşısında olan mənfi işarəsi müsbətlə əvəz olunur. Belə sadələşdirmə ± 5 % həddində xəta yaratmasına baxmayaraq, praktiki hesabatlar zamanı tamamiilə yol veriləndir.

Beləliklə, başlanğıc keçid ifrat keçid cərəyanını hesablamaq üçün əvəz sxemi tərtib olunur. Bu sxemə generatorlar, böyük güclü sinxron və asinxron mühərriklər, ümumiləşdirilmiş yüklərinin gətirilmiş qiymətləri x'' və E''_o ilə daxil edilirlər. Əvəz sxemi şəkil 4.5 və ya 4.6 –da göstərilən şəkilə çevrilirlər. Əgər EHQ və müqavimətlərinin təyini zamanı çətinliklər yaranarsa, onların təqribi qiyməylərini cədvəl 4.1 –dən götürmək olar [2].

QQ yerində və ona bitişik olan nöqtələrdə başlanğıc ifrat keçid cərəyanının hesabatını apararkən, yalnız o yüklər və böyük güclü mühərriklər nəzərə alınır ki, onlar QQ olan yerə qoşulmuşdur, və ya bilavasitə ondan elektriki yaxın məsafədə yerləşir. Bu sadələşdirmə QQ yerindən müxtəlif məsafələrdə yerləşən dörd ədəd sinxron mühərrikin qidalanma sxemi və QQ –dən əvvəlki ($U_{10K} - U_{40K}$) və QQ –dən sonrakı rejimlərə ($U_{10K} - U_{40K}$) müvafiq gərginliklərin epürləri şəkil 4.10 –da verilibdir. Burada qırıq – qırıq xətlə $E_{müh}$ mühərriklərin EHQ – ləri işarə edilmişdir, hansılar ki, kəmiyyətcə bərabər qəbul olunmuşdur. Şəkildən göründüyü kimi, yalnız M4 mühərriki QQ yerini kifayət qədər qidalandırır ($E_{müh\ 0} - U_{40\ K}$ fərginin kifayət qədər böyük olması səbəbindən), yerdə qalan mühərriklər QQ yerində cərəyana ciddi təsir göstərmir.



Şəkil 4.10. QQ yerindən müxtəlif məsafələrdə yerləşən mühərriklərdə gərginliklərin epürü



Şəkil 4.11. Asinxron mühərrikin zərbə əmsalı K_z – nin onun gücündən asılılığı

Asinxron mühərriklərin zərbə cərəyanının təyinatı zamanı, qəbul etmək lazımdır ki, mühərriklərin cəryanlarının aperiodik və periodik mürəkkəbələrinin sönməsi təqribən eyni bir zaman sabiti ilə baş verir. Asinxron mühərriklərin zərbə əmsalında cərəyanın hər iki mürəkkəbəsinin sönməsi nəzərə alınır.

Zərbə əmsalının mühərrikin gücündən asılılığının eksperimental əyrisi şəkil 4.11–də göstərilib. Bu asıllıq əyrisindən təyin olunan K_z nəzərə alınmaqla mühərrikin zərbə cərəyanı $i_{z.m} = \sqrt{2}K_{z.m}I_m^{//}$ formulası ilə təyin olunur, burada I''_m – mühərrikin başlanğıc ifrat keçid cərəyanıdır.

x'' və E''_o –ın orta qiymətləri (normal şərait zamanı, nisbi vahidlərdə)

cədvəl 4.1.

Elementin adı	X''	E''_o
Gücü 100 MVt –a gədər olan turbogenerator	0,125	1,08
Həmçinin gücü 100 – 500 MVt	0,2	1,13
Dempfer dolaqlı hidrogenerator	0,2	1,13
Dempfer dolaqsız hidrogenerator	0,27	1,18
Sinxron mühərrik	0,2	1,10
Sinxron kompensator	0,2	1,20
Asinxron mühərrik	0,2	0,90
Ümumiləşdirilmiş yük	0,35	0,85

YOXLAMA SUALLARI

1. Sonsuz güc şini nə deməkdir?
2. T_a zaman sabitinin fiziki mənası nədən ibarətdir?
3. Zərbə cərəyanının yaranma şəraiti hansılardır?
4. Zərbə cərəyanının təsiredici qiyməti nə deməkdir?
5. Ekvivalent zaman sabiti anlayışının tərifini verin?
6. TAT qurğusu olan sinxron maşının keçid rejiminin xüsusiyyətləri hansılardır?
7. Normal gərginlik və son hədd təsirlənmə rejimləri nə deməkdir?

F ə s i l 5

ELEKTRİK SİSTEMLƏRİNDƏ QEYRİ - SİMMETRİK KEÇİD PROSESLƏRİ

Qeyri – simmetrik rejimlər qeyri – simmetrik qısaqapanmalar yaxud xəttin bir – iki fazasının qırılması nəticəsində baş verir. Birinci halda elektrik şıbəkələrində eninə qeyri – simmetriklik, ikinci halda isə uzununa qeyri – simmetriklik yaranır. Qeyri – simmetriklik zamanı keçid proseslərinin ciddi riyazi analizi onunla şətinləşir ki, elektrik maşınlarında rotorun döyünən maqnit sahəsi yaranı, hansı ki, cərəyanın ali harmonik təşkiledicisinin bütün spektirlərini yaradır [2]. *A, B, C* koordinat oxları sisteminin *d, q, 0* dəyişdirilməsi diferensial tənliyini periodik təşkiledicilərdən azad etmir. Ona görə də əksər praktiki hesabatlarda cərəyan və gərginlik ancaq əsas harmonikası nəzərə alınır. Ancaq belə məhdudlaşdırma simmetrik təşkiledicilər metodundan istifadədə mümkündür. Bu ən çox qeyri – simmetrik QQ –lərin analizi üçün istifadə olunur.

5.1. SİMMETRİK MÜRƏKKƏBƏLƏR METODU

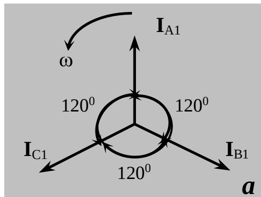
Simmetrik mürəkkəbələr metodu fazaların qeyri – bərabər iş şəraiti zamanı, çox fazalı elektrik sisteminin riyazi nəzəriyyəsinə əsaslanır. Metodun riyazi əsaslandırılması K. Forteskue (C.L. Fortescue) tərəfindən işlənmiş, sonra isə onu R. Evans və K. Vaqner (R. Evans və C. Wagner) [1] qeyri – simmetrik QQ – nin

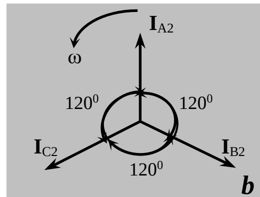
analizi zamanı yaranan məsələlərin həlli üçün istifadə etmişlər. Postsovet məkanında metodun hesabatlara tətbiq olunmasında M.N. Şedrin [1] və S.A. Ulyanov aktiv rol oynamışlar [2].

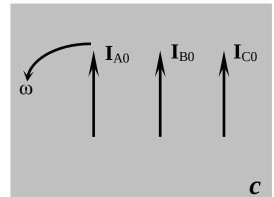
Simmetrik mürəkkəbələr metodunun əsas müddəalarini ifadə edək.

1.*İstənilən qeyri – simmetrik cərəyanlar sistemi: düz, əks və sıfır ardıcıllıqlı sistem adlanan üç simmetrikə bölmək olar. Bu sistemlər "simmetrik mürəkkəbələr" adını almışdır*. Nəzərdə tutulur ki, onlar baxılan şəbəkədə qeyri – simmetrik rejimdə eyni zamanda dövr edir. Düz ardıcıllıqlı simmetrik cərəyanlar sistemi (şəkil 5.1, *a*) 120º bucaq altında yerləşən üç ədəd qiymətcə bir – birinə bərabər olan vektordan ibarətdir. Vektorlar saat əqrəbinin əksinə fırlanır və fazaların normal ardıcıllığına (*A – B – C*) riayət olunur. Faza qiymətlərinin nisbəti aşağıdakı operator vasitəsi ilə təyin olunur

$$\mathbf{a} = -\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2} = e^{f120^o}.$$







Şəkil 5.1. Düz (*a*), əks (*b*) və sıfır ardıcıllıqlı (c) cərəyanlar sistemi

Bu vahid uzunluqlu vektorun 120º–yə bərabər arqumenti var. Əgər biz, məsələn $\mathbf{I}_{A1}$ vektorunu **a** –ya vursaq, bu $\mathbf{I}_{A1}$–i saat əqrəbinin əksinə 120º çevrilməsi deməkdir. **a** vektorun köməyi ilə *B* və *C* fazalarının cərəyanlarını *A* fazasının cərəyanı vasitəsilə ifadə etmək olar:

$$\mathbf{I}_{B1} = \mathbf{a}^2\mathbf{I}_{A1}, \quad \mathbf{I}_{C1} = \mathbf{a}\mathbf{I}_{A1}.$$

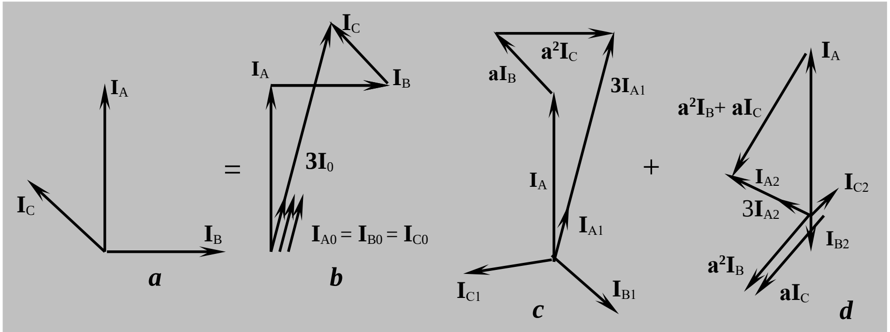
Əks – ardıcıllıqlı cərəyanların simmetrik sistemi (şəkil 5.1, *b*) üç ədəd eyni qiymətli, 120º –lik bucaq altında yerləşən və saat əqrəbinin əksinə fırlanan vektordan ibarətdir. Bu vektorlar elə fırlanır ki, fazaların əks ardıcıllığına (*A – C – B*) riayət olunur. Bu zaman *B* və *C* fazalarının cərəyanları *A* fazasının cərəyanı vasitəsilə

$$\mathbf{I}_{B2} = \mathbf{aI}_{A2}, \quad \mathbf{I}_{C2} = \mathbf{a}^2\mathbf{I}_{A2}.$$

ifadələri ilə əlaqədardır.

Sıfır ardıcıllıqlı cərəyanların simmetrik sistemi (şəkil 5.1, *c*) düz və əks ardıcıllıqlıdan kifayət dərəcədə fərqlənir. O, fazalar üzrə üst – üstə düşən, eyni amplitudalı, üç dəyişənli cərəyanlar sistemindən ibarətdir. Əslinə baxanda bu cərəyanlar bir fazalı cərəyanın budaqlanmasından ibarətdir, yəni bu üçfazalı dövrənin üç naqili bir ədəd düz naqildən ibarətdir, əks naqili isə yerdən və ya dördüncü (sıfır) naqildən ibarətdir. Şəbəkədə sıfır ardıcıllıqlı cərəyanların olması onda yerlə qeyri – simmetrik qapanmanın yaranması deməkdir. Baxtığımız qeyri – simmetrik cərəyanlar sisteminin simmetrik mürəkkəbələrə bölünməsində ancaq bir bölünməyə yol verilir. Həqiqətən, hər bir fazanın cərəyanını onun simmetrik mürəkkəbələri vasitəsilə təsvir edərək aşağıdakıları alarıq

$$\begin{aligned} \mathbf{I}_A &= \mathbf{I}_{A1} + \mathbf{I}_{A2} + \mathbf{I}_{A0}, \\ \mathbf{I}_B &= \mathbf{a}^2\mathbf{I}_{A1} + \mathbf{aI}_{A2} + \mathbf{I}_{A0}, \\ \mathbf{I}_C &= \mathbf{aI}_{A1} + \mathbf{a}^2\mathbf{I}_{A2} + \mathbf{I}_{A0}, \end{aligned} \tag{5.1}$$



Şəkil 5.2. Qeyri – simmetrik cərəyanlar sisteminin simmetrik mürəkkəbələri

Əgər $\mathbf{I}_A$, $\mathbf{I}_B$, $\mathbf{I}_C$ verilmiş olarsa, onda $\mathbf{I}_{A1}$, $\mathbf{I}_{A2}$ və $\mathbf{I}_{A0}$ üç axtarılan kəmiyyətlərdir. Onlar ancaq bir həlli mümkün olan üç xətti təliklərlə təyin olunur:

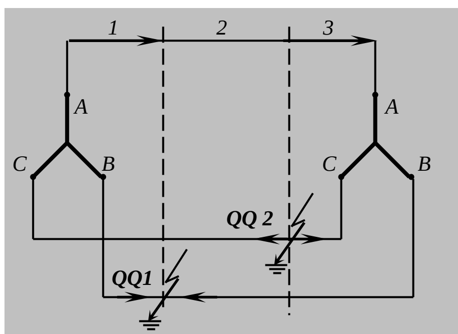
$$\mathbf{I}_{A1} = \frac{1}{3}\left(\mathbf{I}_A + \mathbf{aI}_B + \mathbf{a}^2\mathbf{I}_C\right), \tag{5.2}$$

$$\mathbf{I}_{A2} = \frac{1}{3}\left(\mathbf{I}_A + \mathbf{a}^2\mathbf{I}_B + \mathbf{a}\mathbf{I}_C\right), \qquad (5.3)$$

$$\mathbf{I}_{A0} = \frac{1}{3}\left(\mathbf{I}_A + \mathbf{I}_B + \mathbf{I}_C\right), \qquad (5.4)$$

Cərəyanın simmetrik mürrəkkəbələri üçün olan bütün mütənasibliklər, gərginlik üçün də doğrudur.

Qeyri – simmetrik cərəyanların mürrəkkəbələrə ayrılmasına baxaq (şəkil 5.2, *a)* · (5.2) – (5.4) ifadələrinə müvafiq olan həndəsi qurma vasitəsilə sıfır, düz və əks ardıcıllıqlı cərəyanları tapaq (şəkil 5.2,*b*–*c*). Əgər simmetrik mürrəkkəbələri (5.1) ifadəsinə müvafiq toplasaq, onda ilkin sistemi alarıq.



Şəkil 5.3. İki tərəfdən qidalanan şəbəkənin B və C fazalarında yerlə qapanması

2. Üçfazalı dövrədə QQ yerində gərginliyin düz ardıcıllığı ilə bərabər gərginliyin əks və sıfır ardıcıllığı yaranır. Sxemin budaqlarında isə düz ardıcıllıqlı cərəyanla bir yerdə əks və sıfır ardıcıllıqlı cərəyanlar dövr etməyə başlayır.

Bu müddəanı nümunalərlə aydınlaşdırmaq üçün şəkil 5.3–də göstərilən elektrik sisteminin sxeminə baxaq. Cərəyanların müsbət istiqaməti kimi soldan sağa istiqaməti qəbul edək və fərz edək ki, paylanmanın təsviri şəkil 5.3 –də göstərilən kimidir.

Onda 1 – ci sahə üçün

$$\mathbf{I}_A^{(1)} + \mathbf{I}_B^{(1)} + \mathbf{I}_C^{(1)} = 0,$$

ikinci sahə üçün

$$\mathbf{I}_A^{(2)} + \mathbf{I}_B^{(2)} + \mathbf{I}_C^{(2)} \neq 0,$$

üçüncü sahə üçün

$$\mathbf{I}_A^{(3)} + \mathbf{I}_B^{(3)} + \mathbf{I}_C^{(3)} = 0 \text{ olar.}$$

Bu mütənasibliklərdən görünür ki, (5.4) ifadəsi ilə təyin olunan sıfır ardıcıllıqlı cərəyan ancaq 2 sahəsində dövr eləyir.

1 və *2* sahələri üçün açağıdakı mütənasibləri yazmaq olar:

$$\mathbf{I}_A^{(1)} = \mathbf{I}_A^{(2)}, \qquad \mathbf{I}_C^{(1)} = \mathbf{I}_C^{(2)},$$

$$\mathbf{I}_B^{(1)} - \mathbf{I}_B^{(2)} = \mathbf{I}_3 \text{ və } \quad \mathbf{I}_B^{(2)} = \mathbf{I}_B^{(1)} - \mathbf{I}_3,$$

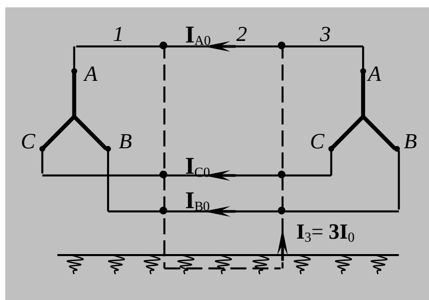
burada $\mathbf{I}_3$ yerdən axan cərəyandır. Buradan

$$\mathbf{I}_A^{(2)} + \mathbf{I}_B^{(2)} + \mathbf{I}_C^{(2)} = \mathbf{I}_A^{(1)} + \mathbf{I}_B^{(1)} + \mathbf{I}_C^{(1)} - \mathrm{I}_3 = 0 - \mathrm{I}_3 = -\mathrm{I}_3$$

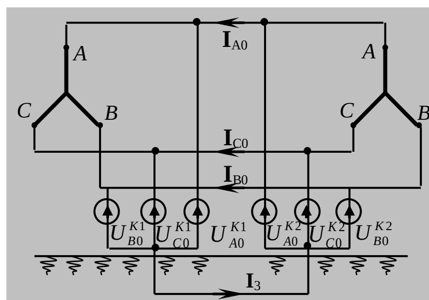
(5.4) ifadəsi nəzərə alınmaqla 2–ci sahənin sıfır ardıcıllıqlı cərəyanı aşağıdakı formula ilə təyin olunacaq

$$\mathbf{I}_{A0}^{(2)} = \mathbf{I}_{B0}^{(2)} + \mathbf{I}_{C0}^{(2)} = -1/3\mathbf{I}_3.$$

Sıfır ardıcıllıqlı cərəyanların dövr etmə sxemi şəkil 5.4 –də göstərilib. Bu sxem üçün iki sadələşdirmə lazımdır:



Şəkil 5.4. Sıfır ardıcıllıqlı cərəyanların dövr etmə sxemi



Şəkil 5.5. Sıfır ardıcıllıqlı istiqamətləndirmə mənbəyinin qoşulma sxemi

a) yerdə olan cərəyan naqillərini sıfır ardıcıllıqlı cərəyanı ilə qapalı kontur yaradır; *b*) QQ yerində bir yox, hər üç naqil yerlə birləşdirilib.

Beləliklə, sıfır ardıcıllıqlı cərəyanların dövr etməsinin fiziki təsvirini almaq üçün *A, B, C* fazalarını yerlə birləşdirən naqilə sıfır ardıcıllıqlı gərginlik mənbəini şəkil 5.5 – də göstərilən kimi qoşmaq lazımdır.

Bütün bu sadələşdirmələr sıfır ardıcıllıqlı cərəyanlar sistemini düz və əks ardıcıllıqlı cərəyanlar sistemindən ayırmaq üçün lazım olan sadələşdirmələrdir. Əgər düz və əks ardıcıllıqlara ayrılıqla baxsaq, o zaman onların hər biri üçün oxşar

sadələşdirmələri tətbiq etmək lazım olacaq, lakin bir fərqlə ki, indi hər bir fazanın yerə nəzarən U_{A0}, U_{B0}, U_{C0} gərginlikləri əvəzinə simmetrik ulduz vektorları təsvir edən U_{A1}, U_{B1}, U_{C1} və ya U_{A2}, U_{B2}, U_{C2} gərginliklərini qoşmaq lazımdır.

3. *Simmetrik elektrik sistemlərində ayrı – ayrı ardıcıl birləşdirilmiş sxemlərin cərəyan və gərginliklərinə bir birindən ayrı və ya Om və Kirxhov qanunları vasitəsilə öz aralarında əlaqəli şəkildə baxa bilər*.

Əgər dövrənin hər hansı bir elementi simmetrikdirsə və onlardan I_1, I_2, I_0 cərəyanları axarkən onlar Z_1, Z_2, Z_0 müqavimətrlərinə malik olurlarsa, onda bu elementdə gərginlik düşgüsünün simmetrik mürrəkkəbələri aşağıdakı kimi təyin olunacaq:

$$\Delta\mathbf{U}_1 = \mathbf{I}_1\mathbf{Z}_1, \quad \Delta\mathbf{U}_2 = \mathbf{I}_2\mathbf{Z}_2, \quad \Delta\mathbf{U}_0 = \mathbf{I}_0\mathbf{Z}_0, \qquad (5.5)$$

(5.5) tənliklərinin kompleks forması ancaq stasionar rejim üçün deyil, həm də keçed rejimi üçün doğrudur, ona görə ki, keçid prosesi zamanı cərəyan və gərginlikləri fırlanan vektorların müvafiq oxlara proyeksiyası kimi təqdim oluna bilər. Bu zaman kompleks qiymətləri əlaqələndirən diferensial tənliklərə operator tənlikləri cavab verir. Onlar öz strukturlarına görə başlanğıc sıfır şərtlərində kompleks formada yazılan stasionar rejimin tənliklərinə oxşardırlar.

Hər bir ardıcıllığın istənilən QQ üçün Kirxhofun ikinci qanunu aşağıdakı şəkildə yazıla bilər

$$\mathbf{U}_{k1} = \mathbf{E}_{\Sigma} - \mathbf{Z}_{1\Sigma}\mathbf{I}_{k1} \qquad (5.6)$$

$$\mathbf{U}_{k2} = 0 - \mathbf{Z}_{2\Sigma}\mathbf{I}_{k2} \qquad (5.7)$$

$$\mathbf{U}_{k0} = 0 - \mathbf{Z}_{0\Sigma}\mathbf{I}_{k0} \qquad (5.8)$$

burada $\mathbf{U}_{K1}$, $\mathbf{U}_{K2}$, $\mathbf{U}_{K0}$, $\mathbf{I}_{K1}$, $\mathbf{I}_{K2}$, $\mathbf{I}_{K0}$ – QQ yerində cərəyan və gərginliyin simmetrik mürrəkkəbələri; $\mathbf{E}_{\Sigma}$ – QQ nöqtəsinə nisbətən yekun EHQ; $\mathbf{Z}_{1\Sigma}$, $\mathbf{Z}_{2\Sigma}$, $\mathbf{Z}_{0\Sigma}$ – QQ nöqtəsinə nisbətən müvafiq ardıcıllıqların sxeminin yekun müqavimətləridir.

Kirxhofun ikinci qanunu tənliyinin yazılışı simmetrik mürrəkkəbələr metodunun aşağıda verilən müddəalarının ifadə olunmasını zəruri edir.

4. *Üçfazalı şəbəkə elementlərinin müqavimətləri cərəyanın düz, əks və sıfır ardıcıllıqlı mürrəkkəbələri üçün eyni deyildir. Generatorların EHQ – ləri simmetrikdir, yəni onların tərkibində əks və sıfır ardıcıllıqlı mürrəkkəbələr yoxdur*.

Buradan belə çıxır ki: a) elektrik sistemində ancaq düz ardıcıllıqlı EHQ vardır; b) əks və sıfır ardıcıllıqlı cərəyanlar ancaq QQ yerindəki gərginliklərlə təyin olunur.

5. *Üç simmetrik mürrəkkəbələr sistemi arasında hər zaman QQ şərtləri ilə verilən əlaqə vardır*. Bu əlaqə, həqiqi cərəyan və gərginlik vasitəsilə verilmiş qısaqapanmanın sərhəd şərtlərinin simmetrik mürrəkkəbələrlə verilmiş şərtə köçürülməsi ilə asanlıqla müəyyən olunur.

5.2. ELEKTRİK SİSTEMİNİN TƏRS VƏ SIFIR ARDICILLIQLI ELEMENTLƏRİNİN PARAMETRLƏRİ

Elektrik sisteminin hər bir elementi düz, əks və sıfır ardıcıllıqlı parametrləri ilə xarakterizə olunur. Simmetrik QQ –nin hesabatında sistemin elementlərinin təqdim olunan bütün müqavimətləri düz ardıcıllıqlının müqavimətləridir. Fazaları arasında maqnit rabitəsi olmayan elementlər üçün (məsələn reaktorun) müxtəlif ardıcıllıqların müqaviməti öz arasında bir birinə bərabərdir ($Z_1 = Z_2 = Z_0$) və fazaların ardıcıllığından asılı deyil.

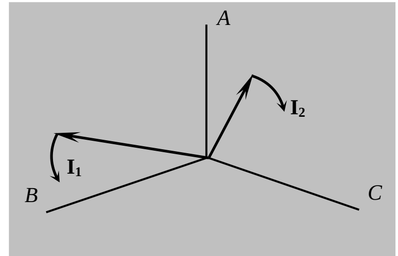
Maqnit rabitəli dövrəsi bir birinə nisbətən hərəkətsiz olan element (məs. transformator, xətt) üçün düz və əks ardıcıllıqlı müqavimətləri bərabərdir, ona görə ki, belə elementin fazalararası qarşılıqlı induksiyası fazalar ardıcıllığının dəyişməsi zamanı dəyişməz qalır ($Z_1 = Z_2$).

5.2.1. Sinxron maşınlar

Əks – ardıcıllıqlı cərəyanlar sistemi fazaları əks ardıcıllıqla sıralanan düz ardıcıllıqlı istemdən fərqlənir. Əks – ardıcıllıqlı cərəyanın ümumiləşdirilmiş vektoru (şəkil 5.6) düz ardıcıllıqlı vektora nisbətən əks tərəfə ω sürəti ilə fırlanır.

Əks – ardıcıllıqlı cərəyan stator dolağından keçərək statorun reaksiyasının maqnit sahəsinin əks istiqamətində fırlanan maqnit sahəsini yaradır.

Əks – ardıcıllıqlı cərəyanın yaratdığı maqnit sahəsi rotora nisbətən ikiqat sinxron tezliklə fırlanaraq ikiqat tezlikli döyünən maqnit sahəsini yaradır.



Şəkil 5.6. Düz və əks – ardıcıllıqlı cəryanların ümumləşdirilmiş vektorları

Sinxron maşınlarda gedən proseslərin fiziki təsviri daha ətraflı [15, səh.62-264]–də yazılıb. Əks – ardıcıllığın induktiv müqaviməti tətbiq olunmuş əks – ardıcıllıq gərginliyinin əks – ardıcıllıq cərəyanın əsas harmonikasına nisbəti kimi təyin etmək olar ($x_2 = U_2/ I_2$).

Qeyri aydınqütblü sinxron maşınların əks – ardıcıllıqlı müqaviməti praktiki hesabatlarda onun ifrat keçid müqavimətinə bərabər qəbul edilir ($x_2 = x''_d$).

Dempfer dolağı olmayan aydınqütblü maşınlar üçün əks – ardıcıllıq müqaviməti aşağıdakı formula ilə təyin olunur:

$$x_2 = \frac{2x_d^{/} x_q}{x_d^{/} + x_q}.$$

Dempfer dolağı nəzərə alınmaqla bu ifadə belə olacaq:

$$x_2 = \frac{2x_d^{//} x_q^{//}}{x_d^{//} + x_q^{//}}.$$

Sıfır ardıcıllıqlı cərəyanlar stator dolağında düz və əks – ardıcıllıqlı cərəyanların yaratdığı maqnit selindən kiçik olan səpələnmə maqnit selini yaradır. Sıfır ardıcıllıqlı induktiv müqavimətin qiyməti x_0 geniş həddə dəyişir (0.15 x''_d – dən 0.6 x''_d – ə qədər).

5.2.2. Transformatorlar və avtotransformatorlar

Transformatorların sıfır ardıcıllıqlı induktiv müqaviməti onların konstruksiyası və dolaqlarının birləşmə sxemi ilə təyin olunur. Konstruktiv icrasına görə transformatorlar bir-, üç-, dördfazalı, beşçubuqlu üçfazalıya bölünürlər.

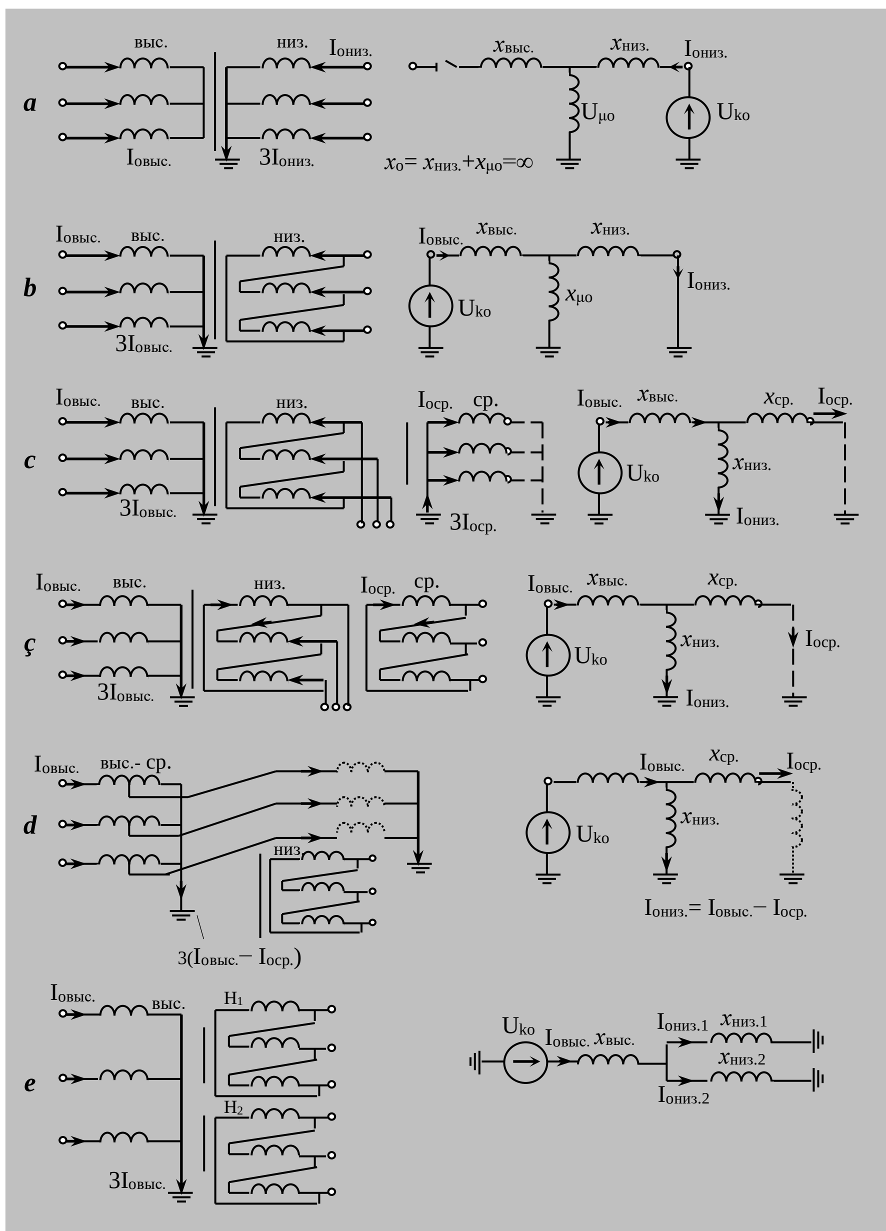
Transformatorların dolaqları üçbucaq (Δ), neytralı yerlə birləşdirilmiş ulduz (Ұ) və neytralı yerdən izolyasiya olunmuş ulduz (Y) birləşdirilə bilərlər. Gücü çox da böyük olmayan, ikinci tərəf gərginliyi 0,4 kV olan transformatorların ikinci tərəf dolaqları bəzən ziqzaq birləşdirilir. Belə transformatorların xüsusiyyətlərinə [9] –da baxılıb.

Transformatorların sxem və birləşmə qrupları dövlət standartları ilə müəyyən olunur. Onlardan yalnız o transformatorlar sıfır ardıcıllıqlı müqavimətlə xarakterizə olunur ki, hansıların ki, heç olmasa bir yerləbirləşdirilmiş neytralı olsun. Belə transformatorlar üçün şəkil 5.7 –də sol tərəfdə dolaqların birləşmə sxemləri, sağ tərəfdə isə sıfır ardıcıllıqlının əvəz sxemi təsvir olunub. Bu olunub. $x_{\mu 0}$ – sıfır ardıcıllıqlı maqnitləndirmənin reaktiv müqavimətidir.

Dolaqların Y/Ұ sxemi üzrə birləşdirilməsi halında (şəkil 5.7, *a*) yüksəkgərginlik tərəfdə sıfır ardıcıllıqlı cərəyanın axması üçün yol yoxdur, ona görə də yüksək gərginlik tərəfdə əvəz sxemi açıqdır və belə transformatorun müqaviməti aşağıdakına bərabərdir:

$$x_0 = x_{a\ell} + x_{\mu 0}.$$

$x_{\mu 0}$ –in qiyməti transformatorun konstruksiyasından asılıdır.



Şəkil 5.7. Transformatorların və avtotransformatorların dolaqlarının birləşməsinin tipləri (solda) və sıfır ardıcıllıqlının əvəz sxemləri (sağda)

Üç birfazalı transformatorlar qrupu və üçfazalı dörd və ya beş maqnitkeçiricilər üçün maqnitləndirmə cərəyanı olduqca kiçikdir və $x_{\mu 0} = \infty$ –dur. Üçfazalı üç çubuqlu transformatorlar üçün $x_{\mu 0*a\ell}$ = 0.3...1. lakin, nəzərə alaraq ki, dolağın səpələnmə müqaviməti $x_{\mu 0}$ –dan xeyli kiçikdir, o zaman bu halda da $x_{\mu 0} = \infty$ hesab etmək olar. Dolağın ¥/Δ sxemi üzrə (şəkil 5.7, *b)* birləşdirilməsi zamanı transformatorun sıfır ardıcıllıqlı EHQ –si tamamilə üç bucaq birləşdirilmiş dolağın səpələnmə reaktivliyi vasitəsilə cərəyanın ötürülməsinə sərf olunacaq, ona görə ki, cərəyan ondan kənara çıxmır. Odur ki, əvəz sxemində $x_{a\ell}$ ilə budağı qapayırlar. Bu isə o deməkdir ki, bu budaqla sıfır ardıcıllıqlı cərəyanın axma yolu qurtarır.

Dolaqları ¥/ ¥/Δ birləşdirilmiş üçdolaqlı transformatorlar (şəkil 5.7, *c*) üçün fərz edilir ki, orta gərginlik tərəfdə sıfır ardıcıllıqlı cərəyanın yolu təmin olunub, yəni orta dolaqdan qidalanan şəbəkədə onun heç olmasa hər hansı bir transformatorunda bir yerlə birləşdirilmiş neytral vardır. Belə transformatorun sıfır ardıcıllıqlı əvəz sxeminə, hər bir dolağın U_{qq} –nə mütənasib olan düz ardıcıllıqlı müqavimət daxil edilir. Üçdolaqlı transformatorlar üçün hər zaman hesab etmək olar ki, $x_{\mu 0} = \infty$.

Dolaqları ¥/Δ/Δ birləşdirilmiş üçdolaqlı transformator (şəkil 5.7, *ç*) üçün əvəz sxemindən onun sıfır ardıcıllıqlı müqavimətini aşağıda verilən formula ilə hesablamaq olar:

$$x_0 = x_B + \frac{x_C x_N}{x_C + x_N}.$$

Avtotransformatorun əvəz sxemi (şəkil 5.7,d) üçdolaqlı transformatorun dolaqlarının neytralının müvafiq rejimi zamanı onun sxeminə oxşardır.

Alçaq gərginlik dolağı hissələrə bölünmüş transformator (şəkil 5.7, *e*) üçün sıfır ardıcıllıqlı müqavimət aşağıdakı formula ilə təyin olunur:

$$x_0 = x_{выс} + \frac{x_{низ1} x_{низ2}}{x_{низ1} + x_{низ2}}.$$

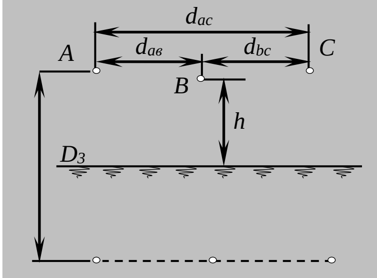
5.2.3. Hava və kabel xətləri

Sıfır ardıcıllıqlı cərəyan hava xəttinin naqilləri ilə axaraq neytralı yerlə birləşdirilmiş transformatorlar vasitəsilə yerlə qapanır. Üçfazalı xətt bu halda üç ədəd ikinaqilli xətlə (xətt – yer) təqdim olunur. Belə xəttin naqilləri arasındakı məsafə Karson formulası ilə təyin olunur (şəkil 5.8):

$$D_{yer} = \frac{2.085}{\sqrt{f\lambda \cdot 10^{-9}}} 10^{-3} (м),$$

burada f – cərəyanın tezliyi, Hz; λ – torpağın xüsusi keçiriciliyidir $(Om \cdot sm)^{-1}$.

50 Hz və $\lambda = 10^{-4}$ orta qiyməti zamanı D_{yer} = 935 m. Praktiki hesabatlarda D_{yer} = 1000 m qəbul edirlər.



Şəkil 5.8. Xəttin sıfır ardıcılllıqlı müqavimətinin təyini üçün

Bir dövrəli üçfazalı xəttin sıfır ardıcıllıqlı müqaviməti xəttin hər bir naqilinə tətbiq olunan gərginliyin qiyməti ilə təyin olunmalıdır ki, faza naqillərindən 1 A sıfır ardıcıllıqlı cərəyan axan zaman yaranan gərginlik düşgüsünü ödəsin. Aktiv müqavimətin nəzərə alınmayan halında bu müqavimət aşağıdakı formula ilə hesablanır (yəni $I_A = I_B = I_C$ = 1A):

$$x_0 = x_L + x_{M\,or} + x_{M\,or} = x_L + 2x_{M\,or}, \qquad (5.9)$$

burada $x_L = 0.145\,\lg\left(D_{yer} / r_{ekv}\right)$, Om/km –xəttin məxsusi induktivliyi; $x_{M\,or} = 0.145\,\lg\left(D_{yer} / D_{or}\right)$, Om/km – qarşılıqlı induktivlik; $D_{or} = \sqrt{d_{AB} d_{AC} d_{BC}}$; r_{ekv} – naqilin ekvivalent radiusudur ($r_{ekv} \approx 0.95$ r).

Bir dövrəli üçfazalı xətdən 1 A cərəyan axan zaman düz ardıcıllıqlı müqavimət aşağıdakı formula ilə hesablanır (yəni $I_A = 1$, $I_B = a^2$, $I_C = a$):

$$x_1 = x_L + a x_{M\,or} + a^2 x_{M\,or} = x_L - x_{M\,or},$$

Əgər bu ifadəni (5.9) ifadəsi ilə müqayisə etsək, belə nəticə çıxarmaq olar ki, sıfır ardıcıllıqlı müqavimət düz ardıcıllıqdan xeyli çoxdur. x_0 – ın qiyməti xəttin konstruksiyasından, ildırımdan mühafizə trosunun olmasından və onların sayından, həmçinin onların keçiriciliyindən (poladın keçiriciyi – pis, alüminiumunki - yaxşıdır) asılıdır.

Hava xəttin əsas tipləri üzrə x_0/x_1 müqavimətlərinin təqribi nisbəti aşağıda verilib.

Xətt	X_0/x_1	
	Bir dövrəli	Iki dövrəli
Trossuz	3.5	5.5
Polad trosla	3.0	4.7
Yüksək keçiricilikli trosla	2.0	3.0

Sıfır ardıcıllıqlı müqavimətin qiymətinə görə, kabel xətləri hava xəttindən az fərqlənir və o, kabelin tipi, onun çəkilmə üsulu, örtüyün materialı və s. ilə təyin olunur. Sıfır ardıcıllıqlı cərəyanın qayıtma yolundan (örtüklə yaxud örtük və yer ilə) asılı olaraq kabel üçün x_0 –ın qiyməti 3,5x_1 –dən 4,6x_1 –ə qədər həddədir.

Qövssöndürücü sarğacın parametrlərini hesablayan zaman tutum müqavimətinin qiymətinin də bilinməsi zəruridir və aşağıda verilən təqribi ifadə ilə təyin olunur:

$$x_{C0} = \frac{96.5}{1.85 + 2r/(b+B)} 10^3 (O\text{м}).$$

burada r – dairəvi damarın radiusu; B və b – faza və qurşaq izolyasiyasının qalınlığıdır.

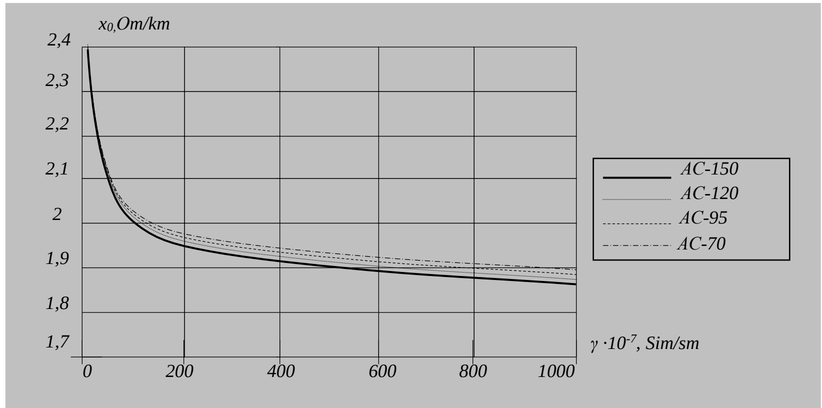
5.2.4. Çoxillik donmuş torpaqların xüsusi keçiriciliyinin elektrik verilişi xəttinin xüsusi parametrlərinə təsiri

Çoxillik donmuş torpaqlar yüksək xüsusi müqavimətləri ilə xarakterizə olunurlar. Donmuş torpağın vəziyyətinin əsas göstəricisi – buz qatının olmasıdır. Buzlu sementin miqdarı xüsusi müqaviməti γ –nı təyin edir. Torpağın buzluğundan əlavə ona temperatur və torpağın litoloji tərkibi təsir edir. Müxtəlif dərinliklərin xüsusi keçericiliyinin ölçülməsi nəticəsində alınan qeoelektrik kəsiliş yuxarıda göstərilən bütün amillərdən asılıdır.

Çoxillik donmuş torpaqların şaquli elektrik zondlama metodu ilə tətqiqi [34] onların mürəkkəb və müxtəlif olduğunu aşkar etdi. Rusiyanın şimalı – şərq rayonları üçün süxurların tipindən asılı olaraq topağın xüsusi müqavimətinin dəyişmə diapazonu $0.7 \cdot 10^3$ – dən 10^7 Om/sm –ə qədərdir. Bu həmçinin hava xəttinin (HX) sıfır ardıcıllıqlı müqavimətinin geniş həddə dəyişməsinə səbəb olur. Bu dəyişmənin dərəcəsi hava xəttinin tezliyi –f, torpağın keçiriciliyi –γ, hava xəttinin həndəsi ölçüləri, trosun olması və HX naqilinin materialı nəzərə alınaraq hava xəttinin uzununa və eninə parametrlərinin hesabatı nəticəsində aşkar olunur.

"Maqadanenerqo" –nun 110/154 kV –luq HX –nin naqillərinin enkəsikləri və tipləri üçün sıfır ardıcıllıqlı müqavimətlərin hesabatının nəticəsi əsasında $x_0 = f(\gamma)$ dəyişmə xarakteri təyin olunmuşdur (şəkil 5.9). Bu gərginlik sinifində olan

xətlər ağac dayaqlarda trossuz tikildiyinə görə sıfır ardıcıllıqlı xüsusi induktiv müqaviməti normal torpağa müvafiq keçiricilik ($\gamma = 10^{-4}$ S/sm) zamanı 1.85 .... 1.88 Om/km təşkil etmişdir. Beləliklə, torpağın keçiriciliyinin azalması sıfır ardıcıllıqlı xüsusi induktiv müqavimətin xeyli artmasına səbəb olur (2.0....2.4 Om/km –ə qədər).



Şəkil 5.9. Sıfır ardıcıllıqlı müqavimətin torpağın keçiriciliyindən asılılığı

Hesabatla həmçinin məlum müddəaları, yəni sıfır ardıcıllıqlı aktiv müqavimətin torpağın keçiriciliyindən asılı olmadığını, ancaq naqilin enkəsiyi ilə təyin olunduğunu və 0.35....0.59 Om/km həddində olduğunu təsdiq etdi.

5.2.5. Asinxron mühərriklər və ümumiləşdirilmiş yük

Əks – ardıcıllıqlı maqnit selinə nisbətən asinxron mühərrikin rotoru $S_{(2)} = 2 - S$ sürüşməsinə malikdir. Asinxron mühərrikin nisbi müqavimətinin sürüşmədən asılığı şəkil 5.10 güstərilib.

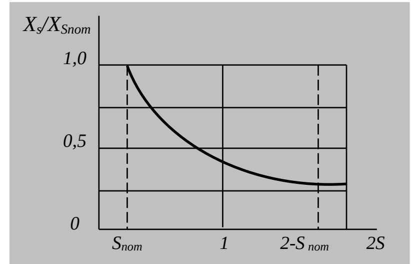
Sürüşmə artdıqca reaktivlik x_S əvvəlcə kəskin azalır. Sürüşmənin S = 1 –dən $S = 2 - S_{nom}$ –a qədər həddlərində müqavimət x_S kiçikdir, ona görə də hesab etmək olar ki,

$$x_2 = x_{S=1} = x_K.$$

Reaktivlik x_K mühərrikin işə salma cərəyanına tərs mütənasibdir:

$$x_2 = \frac{1}{I_P}$$

Asinxron mühərrikin sıfır ardıcıllıqlı reaktiv müqaviməti yalnız stator dolağının səpələnməsi ilə təyin olunur. O, mühərrikin tipindən və konstruksiyasından asılıdır və hər dəfə təcrübi yolla təyin olunmalıdır.



Şəkil 5.10. Asinxron mühərrikin əks-ardıcıllllıqlı müqavimətinin təyini üçün

Ümumiləşdirilmiş yükün əks – ardıcıllıqlı reaktiv müqaviməti onun xarakterindən asılıdır. Əsasən asinxron mühərriklərdən ibarət olan tipik sənaye yükü üçün əks – ardıcıllığın reaktivliyi rejimin pozulmasının ilk anında malik olduğu qiyməti ilə eynidir ($x_{2yük} = 0.35$). Bu müqavimət yükün tam işçi gücünə və onun qoşulduğu pillənin orta nominal gərginliyinə aid edilib. Ümumiləşdirilmiş yükün sıfır ardıcıllıqlı müqaviməti onun birləşmə sxemi və onun tərkibinə daxil olan transformatorlarla təyin olunur. Bu müqavimət yalnız paylayıcı şəbəkənin yükünün ekvivalentlənməsi ilə alına bilər.

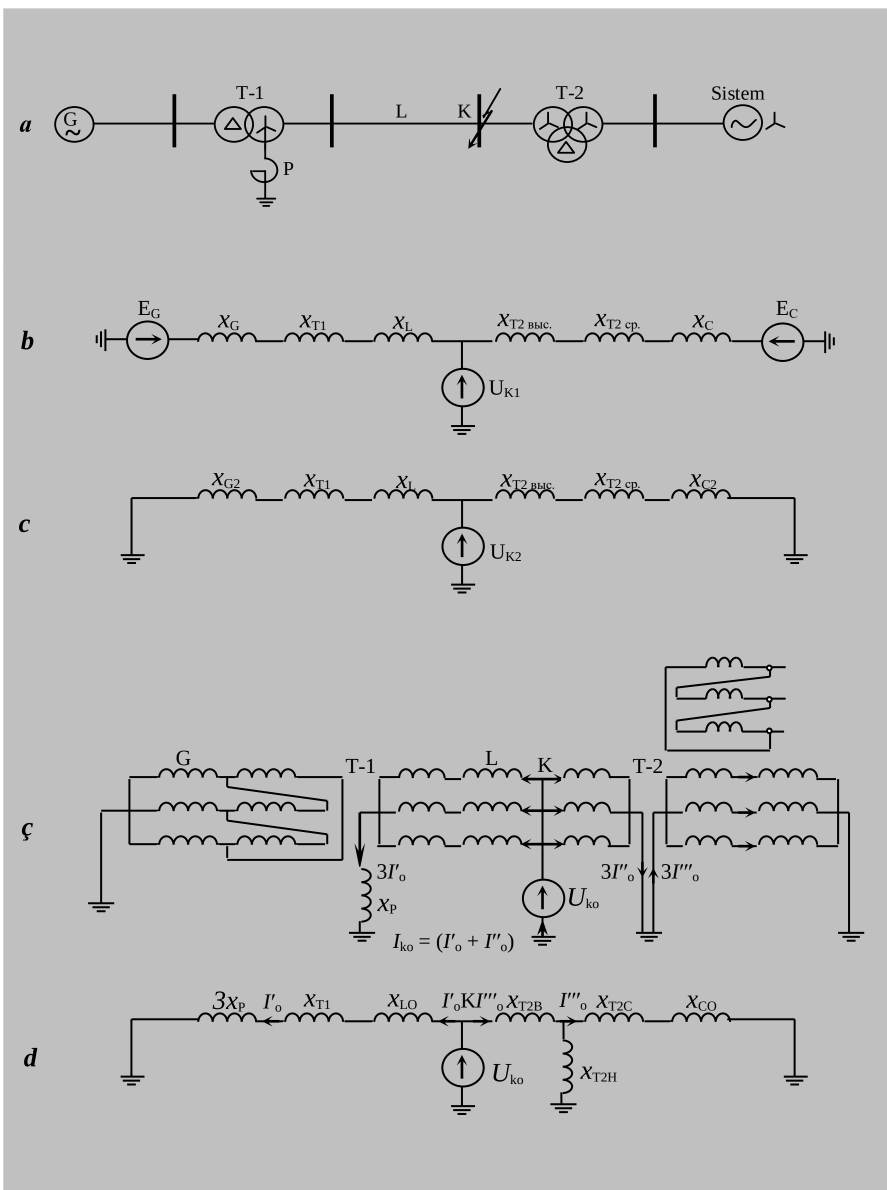
5.3. DÜZ, ƏKS VƏ SIFIR ARDICILLIQLARIN ƏVƏZ SXEMLƏRİ

İstənilən qeyri – simmetrik rejimin simmetrik mürəkkəbələri metodu ilə hesabatının ilk mərhələsi düz, əks və sıfır ardıcıllıqlı sxemlərin tərtib edilməsindən ibarətdir. Bu sxemləri çevirərək bütün ardıcıllıqların cəmi müqavimətini tapırlar, düz ardıcıllıq sxemindən isə bundan əlavə cəmi EHQ –ni təyin edirlər.

Düz ardıcıllığın sxemini simmetrik rejimin hesabatı üçün tətbiq edilən qaydada (məs. üçfazalı QQ) tərtib edirlər.

Əks – ardıcıllıqlının sxeminin konfiqurasiyası düz ardıcıllığın sxeminə oxşardır. Fərq yalnız bu halda bütün generasiya budaqlarının EHQ –lərinin sıfıra bərabər qəbul edilməsində elektrik maşınlarının düz ardıcıllıqlı müqavimətinin isə əks – ardıcıllıqlı müqavimətlə əvəz olunmasındadır.

Sıfır ardıcıllıqlının sxemi düz və əksin sxemindən xeyli fərqlənir, ona görə ki, onun cərəyanının axma yolu düz və əks ardıcıllıqlının cərəyanının dövr etdiyi yoldan fərqlənir.



Şəkil 5.11. Müxtəlif ardıcıllıqların əvəz sxemi: *a* – sistemin prinsipial sxemi; *b, c* – düz və əks ardıcıllıqların sxemi; *ç,d* – sıfır ardıcıllıqlının üçxətli və birxətli sxemləri

Misal qismində prinsipial sxemi şəkil 3.2 –də göstərilən elektrik sistemi üçün düz, əks və sıfır ardıcıllıqlının sxemlərinin tərtib olunmasına baxaq. Belə hesab edək ki, QQ *K*2 nöqtəsində baş vermişdir və *A*5, *A*4 və *A*3 açarları açılmışdır (şəkil 5.11).

Sıfır ardıcıllıqlı cərəyanın dövr etməsi ancaq şəbəkənin sxemində heç olmasa bir yerdə neytralın yerlə birləşdirildiyi halda mümkündür. Əgər belə neytrallar bir neçə yerdə olarsa, o zaman bir neçə qapalı kontur yaranır. Transformatorun neytralına qoşulmuş element (reaktor – R) əvəz sxeminə özünün üçqat müqaviməti ilə daxil edilir. Bu onunla izah olunur ki, neytraldan üç qat cərəyan axır və reaktorun müqavimətində gərginlik düşgüsü $3I'_0\ x_r$ birxətli əvəz sxemində təmin olunmalıdır. Xəttin sıfır ardıcıllıqlı müqaviməti düz ardıcıllıqlının müqavimətindən xeyli fərqlənir, ona görə də o sxemə x_{L0} qiyməti ilə daxil edilmişdir. Əgər sxemdə HX-nin bir neçə paralel dövrəsinə rast gəlinirsə, onda onların arasında qarşılıqlı induksiyanı nəzərə almaq üçün [2, əlavə 8] –də göstərilən əvəz sxemindən istifadə olunur.

Düz, əks və sıfır ardıcıllıqlı sxemlərin başlanğıcı sıfır potensiallı budaqların bir yerə birləşdirildiyi nöqtədir. *Nər hansı bir ardıcıllığın sxeminin sonu* – qeyri – simmetrikliyin yarandığı nöqtədir. Uzununa qeiri – simmetriklik zamanı hər sxemin iki sonluğu olur və onların arasında qeyri – simmetriklik mənbəyi yerləşir.

5.4. BİRQAT ENİNƏ QEYRİ SİMMETRİKLİK

Üç növ qeyri simmetrik QQ – yə baxaq: birfazalı, ikifazalı və yerlə ikifazalı. QQ yerində cərəyan və gərginliklər bu yerdəki sərhəd şərtləri nəzərə alınmaqla təyin olunurlar. Onların yazılması zamanı qəbul olunur ki, A fazası B və C fazasından fərqli şəraitdə yerləşir, yəni x ü s u s i f a z a d ı r. Cərəyanlar üçün ifadələr qısaqapanma yerinin – metalik olması şərti ilə alınmışdır. Qövsün müqavimətinin nəzərə alınması [2, səh. 322] –də verilibdir.

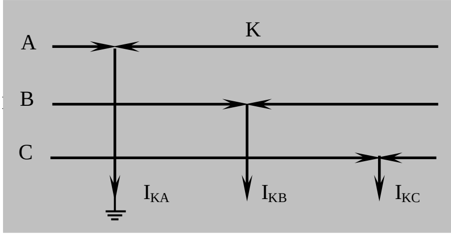
5.4.1. Birfazalı qısaqapanma

Qısaqapanma yerində sərhəd şərtləri (şəkil 5.12) aşağıda verilir:

$$\mathbf{U}_{KA}^{(1)} = 0, \qquad (5.10)$$

$$\mathbf{I}_{KB}^{(1)} = 0, \qquad (5.11)$$

$$\mathbf{I}_{KC}^{(1)} = 0, \qquad (5.12)$$



Şəkil 5.12. Birfazalı QQ yerində cərəyanlar

5.11) və (5.12) şərtləri imkan (verir ki, müxtəlif ardıcıllıqların cərəyanlarının aşağıdakı nisbətlərini ((5.2) –(5.4) nəzərə alınmaqla) alaq:

$$\mathbf{I}_{KA1} = \mathbf{I}_{KA2} = \mathbf{I}_{K0} = \frac{1}{3}\mathbf{I}_{KA} \qquad (5.13)$$

(5.10) nəzərə alınmaqla QQ yerində A fazasının gərginliyi aşağıdakına bərabər olacaq

$$\mathbf{U}_{KA} = \mathbf{U}_{KA1} + \mathbf{U}_{KA2} + \mathbf{U}_{K0} = 0 \qquad (5.14)$$

(5.14) ifadəsində müxtəlif ardıcıllıqların gərginliklərinin (5.6) – (5.8) ifadələrini yerinə yazsaq və (5.13) ifadəsini nəzərə alsaq $\mathbf{E}_{A\Sigma} - j\mathbf{I}_{KA1}\left(x_{1\Sigma} + x_{2\Sigma} + x_{0\Sigma}\right) = 0$ alarıq, buradan sıfır ardıcıllıqlı cərəyan üçün ifadə aşağıdakı şəkili alacaq

$$\mathbf{I}_{KA1} = \frac{\mathbf{E}_{A\Sigma}}{j\left(x_{1\Sigma} + x_{2\Sigma} + x_{0\Sigma}\right)}.$$

Bu ifadəyə daxil olan yekun EHQ $E_{A\Sigma}$ və $x_{1\Sigma}$, $x_{2\Sigma}$, $x_{0\Sigma}$ müqavimətləri sxemin başlanğıc və sonuna nisbətən təyin olunur. Düz, əks və sıfır ardıcıllıqların sxemlərinin (bax şəkil 5.11,b-ç) çevrilməsi şəkil 5.13 göstərilən ekvivalent sxemləri almağa imkan verir.

Bu sxemlərdə EHQ və müqavimət aşağıdakı kimi hesablanır (şəkil 5.11-dəki işarələmələr nəzərə alınmaqla):

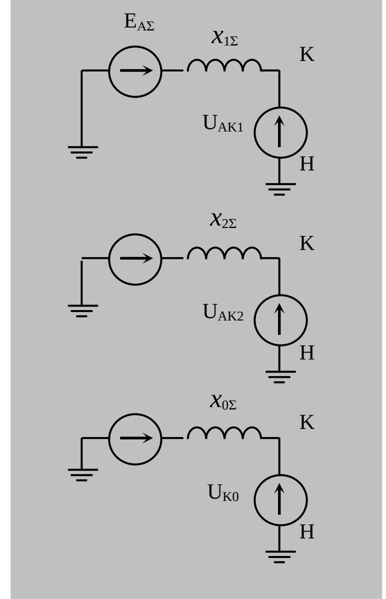
$$E_{A\Sigma} = \frac{E_G\left(x_{T2выс} + x_{T2ср} + x_C\right) + \left(x_G + x_{T1} + x_L\right)}{x_G + x_{T1} + x_L + x_{T2b} + x_{T2C} + x_C},$$

$$x_{1\Sigma} = \frac{(x_G + x_{T1} + x_L)(x_{T2b} + x_{T2C} + x_C)}{x_G + x_{T1} + x_L + x_{T2выс} + x_{T2ср} + x_C},$$

$$x_{2\Sigma} = \frac{(x_{G2} + x_{T1} + x_L)(x_{T2выс} + x_{T2ср} + x_{C2})}{x_{G2} + x_{T1} + x_L + x_{T2выс} + x_{T2ср} + x_{C2}},$$

$$x_{0\Sigma} = \frac{(3x_P + x_{T1} + x_{L0})(x_{T2в} + x_{T-C})}{3x_P + x_{T1} + x_{L0} + x_{T2в} + x_{T-C}},$$

burada $$x_{T-C} = \frac{(x_{T2c} + x_{C0})x_{T2H}}{x_{T2c} + x_{C0} + x_{T2H}}.$$



Şəkil 5.12. Düz (*a*), əks (*b)* sıfır (*c*) ardıcıllıqların ekvivalent sxemləri

Düz ardıcıllıqlı cərəyanı bilərək zədələnmiş fazada tam cərəyanı təyin edirik:

$$\mathbf{I}_{KA} = 3\mathbf{I}_{KA1} = \frac{3\mathbf{E}_{A\Sigma}}{j(x_{1\Sigma} + x_{2\Sigma} + x_{0\Sigma})}. \qquad (5.15)$$

QQ yerində gərginliyin simmetrik mürəkkəbələri aşağıdakı formulalarla hesablanır:

$$\mathbf{U}_{K0} = -jx_{0\Sigma}\mathbf{I}_{K0} = -jx_{0\Sigma}\mathbf{I}_{KA1},$$

$$\mathbf{U}_{KA2} = -jx_{2\Sigma}\mathbf{I}_{K2} = -jx_{2\Sigma}\mathbf{I}_{KA1},$$

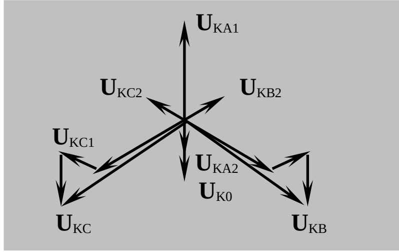
$$\mathbf{U}_{KA1} = -(\mathbf{U}_{KA2} + \mathbf{U}_{K0}) = j(x_{2\Sigma} + x_{0\Sigma})\mathbf{I}_{KA1},$$

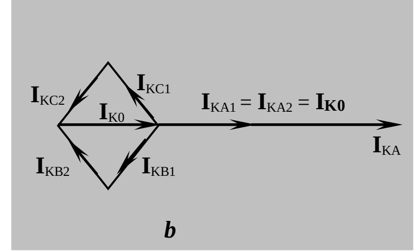
QQ yerində *B* və *C* fazalarının gərginlikləri isə aşağıdakı formulalarla hesablanır:

$$U_{KB} = \mathbf{a}^2\mathbf{U}_{KA1} + \mathbf{a}\mathbf{U}_{KA2} + \mathbf{U}_{K0} = j\left[(\mathbf{a}^2 - \mathbf{a})x_{2\Sigma} + \left(\mathbf{a}^2 - 1\right)x_{0\Sigma}\right]\mathbf{I}_{KA1},$$

$$\mathbf{U}_{KC} = j\left[(\mathbf{a}^2 - \mathbf{a})x_{2\Sigma} + \left(\mathbf{a} - 1\right)x_{0\Sigma}\right]\mathbf{I}_{KA1}.$$

QQ yerindəki gərginlik və cərəyanların vektor diaqramaları şəkil 5.14 – də göstərilib.





Şəkil 5.14. Birfazalı QQ yerindəki gərginliklərin (*a*) və cərəyanların (*b*) vektor diaqramları

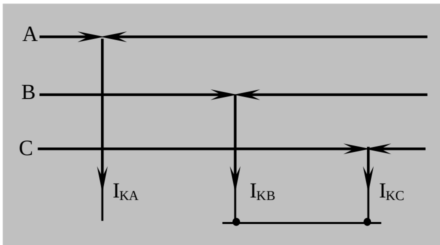
5.4.2. İkifazalı qısaqapanma

QQ yeri yerlə əlaqəli olmadığına və sıfır ardıcıllıqlı cərəyanın axması üçün yol olmadığına görə 5.16 şərtini aşağıdakı şəkildə yazmaq olar

$$\mathbf{I}_{KA} = \mathbf{I}_{KA1} + \mathbf{I}_{KA2} = 0,$$

buradan

$$\mathbf{I}_{KA1} = -\mathbf{I}_{KA2}. \qquad (5.17)$$



Şəkil 5.15. İkifazalı QQ yerində cərəyanlar

Qısaqapanma yerində sərhəd şərtləri (şəkil 5.15) aşağıdakılardır:

$$\mathbf{I}_{KA}^{(2)} = 0, \qquad (5.16)$$

$$\mathbf{I}_{KB}^{(2)} = \mathbf{I}_{KC}^{(2)},$$

$$\mathbf{U}_{KB}^{(2)} = \mathbf{U}_{KC}^{(2)},$$

Zədələnmiş fazanın gərginliyini *A* fazasının gərginliyinin simmetrik mürəkkəbələri vasitəsi ilə ifadə edək və (5.17) –ni nəzərə alaraq aşağıdakı alınar

$$\mathbf{a}^2\mathbf{U}_{KA1} + \mathbf{a}\mathbf{U}_{KA2} + \mathbf{U}_{K0} = \mathbf{a}\mathbf{U}_{KA1} + \mathbf{a}^2\mathbf{U}_{KA2} + \mathbf{U}_{K0},$$

onda

$$\mathbf{U}_{KA1}\left(\mathbf{a}^2 - \mathbf{a}\right) + \mathbf{U}_{KA2}\left(\mathbf{a} - \mathbf{a}^2\right) = \left(\mathbf{a}^2 - \mathbf{a}\right)\left(\mathbf{U}_{KA1} - \mathbf{U}_{KA2}\right) = 0.$$

$\left(\mathbf{a}^2 - \mathbf{a}\right) \neq 0$ olduğundan,

$$\mathbf{U}_{KA1} = \mathbf{U}_{KA2}.$$

Bu bərabərlik imkan verir ki, (5.6) və (5.7) –nin sağ tərəfini bərabərləşdirək, yəni $\mathbf{E}_{A\Sigma} - jx_{1\Sigma}\,\mathbf{I}_{KA1} = -jx_{2\Sigma}\mathbf{I}_{KA2}$, buradan (5.17) –ni nəzərə amaqla aşağıdakı ifadəni alarıq

$$\mathbf{I}_{KA1} = \frac{\mathbf{E}_{A\Sigma}}{j\left(x_{1\Sigma} + x_{2\Sigma}\right)}.$$

QQ yerində zədələnmiş fazaların cərəyanı aşağıdakı kimi hesablanır:

$$\mathbf{I}_{KB} = \mathbf{a}^2\mathbf{I}_{KA1} + \mathbf{a}\mathbf{I}_{KA2} = \left(\mathbf{a}^2 - \mathbf{a}\right)\mathbf{I}_{KA1} = -j\sqrt{3}\mathbf{a}^2\mathbf{I}_{KA1} = \frac{-j\sqrt{3}\mathbf{E}_{A\Sigma}}{j\left(x_{1\Sigma} + x_{2\Sigma}\right)},$$

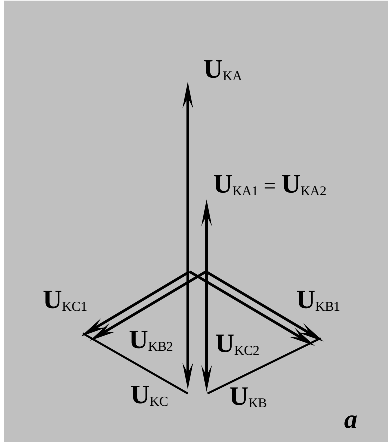
$$\mathbf{I}_{KC} = -\mathbf{I}_{KB} = j\sqrt{3}\mathbf{I}_{KA1} = \frac{j\sqrt{3}\mathbf{E}_{A\Sigma}}{j\left(x_{1\Sigma} + x_{2\Sigma}\right)}. \qquad (5.18)$$

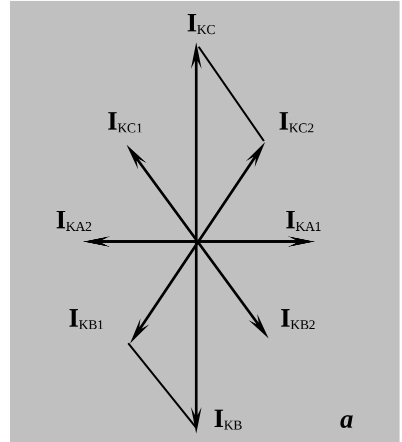
QQ yerində zədələnmiş fazaların gərginliyi aşağıdakı formulalarla təyin olunur

$$\mathbf{U}_{KA} = \mathbf{U}_{KA1} + \mathbf{U}_{KA2} = 2\mathbf{U}_{KA2} = 2\,jx_{2\Sigma}\mathbf{I}_{KA1}, \qquad (5.19)$$

$$\mathbf{U}_{KB} = \mathbf{U}_{KC} = \mathbf{a}^2\mathbf{U}_{KA1} + a\mathbf{U}_{KA2} = -\mathbf{U}_{KA1} = -\frac{\mathbf{U}_{KA}}{2}.$$

QQ yerindəki cərəyan və gərginliklərin vektor diaqramları şəkil 5.16 – da verilib.





Şəkil 5.16. İkifazalı QQ yerindəki gərginlik (*a*) və cərəyanların (*b*) vektor diaqramları

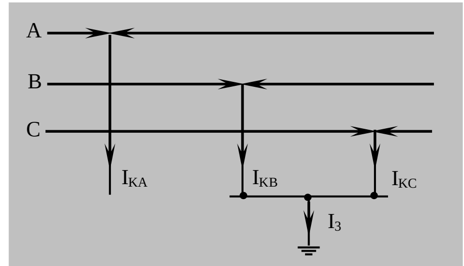
5.4.3. İkifazalı yerlə qısaqapanma

Qısaqapanma yerində sərhəd şərtləri (şəkil 5.17) aşağıdakılardır:

$$\mathbf{I}_{KA}^{(1.1)} = 0,$$

$$\mathbf{U}_{KB}^{(1.1)} = 0, \quad (5.20)$$

$$\mathbf{U}_{KC}^{(1.1)} = 0. \quad (5.21)$$



Şəkil 5.17. Yerdə ikifazalı QQ yerində cərəyanlar

(5.1) ifadəsi nəzərə alınaraq bu şərtləri aşağıdakı şəkildə yaz – maq olar:

$$\mathbf{I}_{KA1}+\mathbf{I}_{KA2}+\mathbf{I}_{K0}=0. \quad (5.22)$$

(5.20) və (5.21) şərtləri imkan verir ki, aşağıdakı nisbəti yazaq

$$\mathbf{U}_{KA1}=\mathbf{U}_{KA2}=\mathbf{U}_{K0}=\frac{1}{3}\mathbf{U}_{KA}. \qquad (5.23)$$

(5.7), (5.8) və (5.23) –ə müvafiq $\mathbf{I}_{KA2}jx_{2\Sigma}=\mathbf{I}_{K0}jx_{0\Sigma}$ ifadəsini alarıq. Bu bərabərliyin hər iki tərəfinə $I_{K0}jx_{0\Sigma}$ əlavə etsək, $jx_{2\Sigma}\left(\mathbf{I}_{K2}+\mathbf{I}_{K0}\right)=j\mathrm{I}_{K0}\left(x_{2\Sigma}+x_{0\Sigma}\right)$ alarıq. Onda, (5.22) –ni nəzərə alaraq, yaza bilərik

$$\mathbf{I}_{K0}=-\mathbf{I}_{KA1}\frac{x_{2\Sigma}}{x_{2\Sigma}+x_{0\Sigma}}, \qquad (5.24)$$

$$\mathbf{I}_{KA2}=-\mathbf{I}_{KA1}\frac{x_{0\Sigma}}{x_{2\Sigma}+x_{0\Sigma}}. \qquad (5.25)$$

(5.24) və (5.25) formulalarını (5.6) – da yerinə yazsaq, alarıq

$$\mathbf{U}_{KA1}=\mathbf{E}_{A\Sigma}-\mathbf{I}_{KA1\,jX_{1\Sigma}}=\mathbf{U}_{K0}=\mathbf{I}_{KA1}j\frac{x_{2\Sigma}x_{0\Sigma}}{x_{2\Sigma}+x_{0\Sigma}},$$

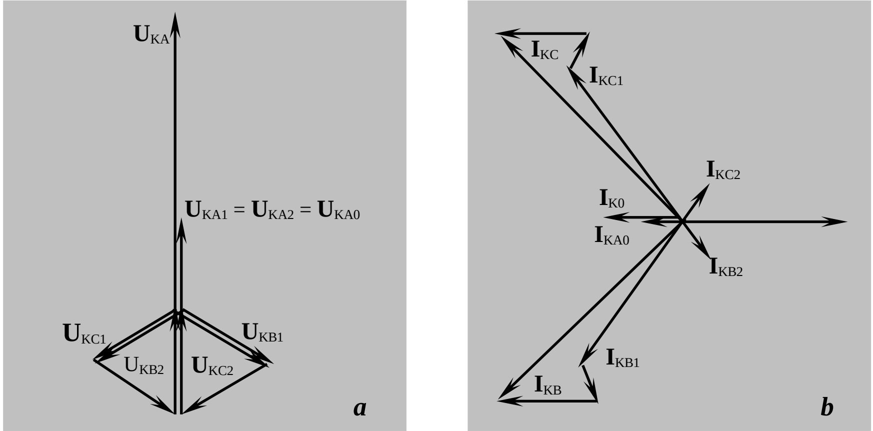
buradan

$$\mathbf{I}_{KA1}=\frac{\mathbf{E}_{A\Sigma}}{j\left(x_{1\Sigma}+\dfrac{x_{2\Sigma}x_{0\Sigma}}{x_{2\Sigma}+x_{0\Sigma}}\right)}. \qquad (5.26)$$

QQ yerində zədələnmiş fazaların cərəyanları aşağıdakı kimi təyin olunur:

$$\mathbf{I}_{KB} = \mathbf{a}^2\mathbf{I}_{KA1} + \mathbf{a}\mathbf{I}_{KA2} + \mathbf{I}_{K0} = \mathbf{a}^2\mathbf{I}_{KA1} - \mathbf{a}\mathbf{I}_{KA1}\frac{x_{0\Sigma}}{x_{2\Sigma} + x_{0\Sigma}}$$
$$-\mathbf{I}_{KA1}\frac{x_2}{x_{2\Sigma} + x_{0\Sigma}} = \left(\mathbf{a}^2 - \frac{x_{2\Sigma} + \mathbf{a}x_{0\Sigma}}{x_{2\Sigma} + x_{0\Sigma}}\right)\mathbf{I}_{KA1}, \quad (5.27)$$

$$\mathbf{I}_{KC} = \left(\mathbf{a} - \frac{x_{2\Sigma} + \mathbf{a}^2 x_{0\Sigma}}{x_{2\Sigma} + x_{0\Sigma}}\right)\mathbf{I}_{KA1}, \quad (5.28)$$



Şəkil 5.18. Yerdə ikifazalı QQ yerində gərginlik (*a*) və cərəyanların (*b*) vektor diaqramları

QQ yerində yerə axan cərəyan aşağıdakı formula üzrə hesablanır:

$$\mathbf{I}_3 = \mathbf{I}_{KB} + \mathbf{I}_{KC} = 3\mathbf{I}_{K0}.$$

(5.27) və (5.28) – də I_{KA1} qarşısında duran kompleks əmsalların modulları eyni olduğundan:

$$\mathbf{m}^{(1.1)} = \sqrt{3}\sqrt{1 - \frac{x_{2\Sigma}x_{0\Sigma}}{(x_{2\Sigma} + x_{0\Sigma})^2}}.$$

QQ yerindəki gərginlik və cərəyanların vektor diaqramları şəkil 5.18 – də göstərilib.

5.4.4. Qeyri – simmetrik qısaqapanma cərəyanının hesabatının alqoritmi

Qeyri – simmetrik QQ yerindəki cərəyanlar üçün olan ifadələrin ((5.15), (5.18), (5.27) və (5.28) ifadələri) strukturu istənilən qeyri – simmetrik QQ cərəyanının hesabatı üçün universal formulanı almağa imkan verir:

$$\mathbf{I}_K^n = \frac{m^{(n)}\mathbf{E}_{A\Sigma}}{j\left(x_{1\Sigma} + x_\Delta^{(n)}\right)}, \tag{5.29}$$

burada $E_{A\Sigma}$ – düz ardıcıllığın yekun EHQ –si; $x_{1\Sigma}$ – düz ardıcıllığın əvəz sxeminin ümumi müqaviməti; $m^{(n)}$ – hesablanan QQ növünü xarakterizə edən əmsaldır, belə ki:

$$\mathrm{m}^{(1)} = 3, \quad \mathrm{m}^{(2)} = j\sqrt{3}, \quad m^{(1.1)} = \sqrt{3}\sqrt{1 - \frac{x_{2\Sigma}x_{0\Sigma}}{\left(x_{2\Sigma} + x_{0\Sigma}\right)^2}} ,$$

$x_\Delta^{(n)}$ - düz ardıcıllıqlı sxemin başlanğıcı ilə sonu arasına qoşulan qeyri – simmetrik QQ şuntudur və əks və sıfır ardıcıllıqlı müqavimətlərin cəmi ilə təyin olunur:

$$x_\Delta^{(1)} = x_{2\Sigma} + x_{0\Sigma}, \qquad x_\Delta^{(2)} = x_{2\Sigma}, \qquad x_\Delta^{(1.1)} = \frac{x_{2\Sigma}x_{0\Sigma}}{x_{2\Sigma} + x_{0\Sigma}}.$$

Qeyri – simmetrik QQ nöqtəsində cərəyanın hesabatını bir neçə əsas mərhələyə bölmək olar:

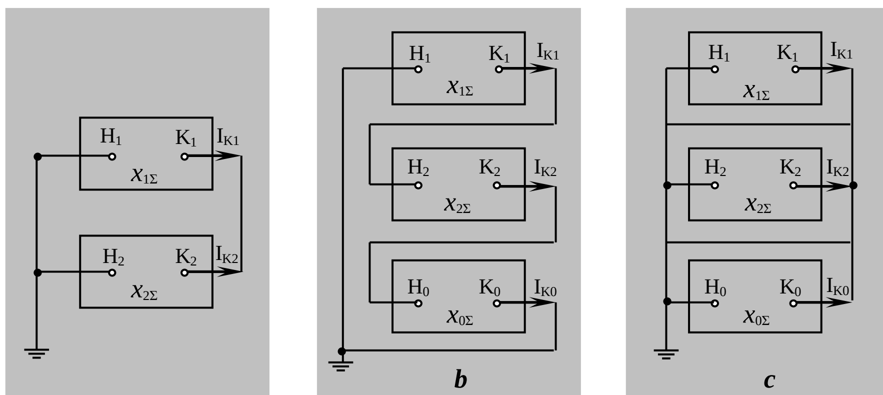
1. Düz, əks və sıfır ardıcıllıqlıların əvəz sxemləri tərtib olunur.
2. Əvəz sxeminin parametrlərinin hesabatı və bir qiymətə gətirilməsi yerinə yetirilir. Bu zaman sxemin ayrı – ayrı elementlərinin 5.2 bölməsində baxılmış düz, əks və sıfır ardıcıllıqlı parametrlərinin müxtəlif olması nəzərə alınır.

3. Düz, əks və sıfır ardıcıllıqlıların sxeminin ümumi müqaviməti təyin olunur. Hər bir ardıcıllığın sxeminin çevrilməsi onun başlanğıc və sonuna nisbətən yerinə yetirilir.
4. Düz ardıcıllıqlı sxemin yekun EHQ –si tapılır. Əgər düz ardıcıllıqlının əvəz sxeminin tərkibində birdən çox EHQ mənbıyi olarsa, o zaman onların ekvivalentlənməsi sxemin başlanğıc və sonuna nisbətən yerinə yetirilir.
5. Hesabatı yerinə yetirilən qısaqapanmanın $m^{(n)}$ – əmsalı hesablanır.
6. Qısaqapanma şuntu $x_{\Delta}^{(n)}$ – təyin olunur.
7. (5.29) ifadəsi ilə qısaqapanma yerində tam cərəyan hesablanır.

Əgər hesabatın məqsədi QQ yerində gərginliklərin və ya onların simmetrik mürəkkəbələrinin təyin edilməsi olarsa, onda 5.4.1 ÷ 5.4.3 bölmələrində alınmış müvafiq ifadələrdən istifadə olunur.

5.4.5. Kompleks əvəz sxemləri

Yuxarıda simmetrik mürəkkəbələr arasında alınmış rabitə ifadələri müxtəlif qeyri – simmetrik QQ –lərın kompleks əvəz sxemini almağa imkan verir.



Şəkil 5.19. Kompleks əvəz sxemləri: *a* – ikifazalı, *b* – birfazalı, c – ikifazalı yerlə QQ üçün (*H* – sxemin başlanğıcı, *K* – onun sonu)

Kompleks sxem – düz, əks və sıfır ardıcıllıqların əvəz sxemlərinin birləşdirilməsindən alınan sxemdir. Birləşdirmə üsulu QQ –nın növündən asılıdır (şəkil 5.19). Burada hər bir düz bucaqlı müəyyən ardıcıllığın əvəz sxemini bildirir və əvəz sxemlərinin kompleks sxemə birləşdirmək – kompleks sxemdə ümumi

müqavimətlər $x_{2\Sigma}$ və $x_{0\Sigma}$ ilə təqdim olunan QQ şuntunu düz ardıcıllığın sxeminə qoşmaq deməkdir. Müqavimətlər $x_{2\Sigma}$ və $x_{0\Sigma}$ müvafiq sxemin başlanğıc və sonuna nisbətən təyin olunurlar.

5.4.6. Müxtəlif qısaqapanm cərəyanlarının müqayisə olunması

Qarşıya qoyulan məsələnin həllində üçfazalı QQ cərəyanlı qeyri – simmetrik QQ cərəyanlarının müqayisəsi ilə kifayətlənək. Bunun üçün (5.29) ifadəsindən istifadə etməklə cərəyanların nisbətini almaq lazımdır:

$$\frac{I_K^{(n)}}{I_K^{(3)}} = \frac{m^{(n)}\mathbf{E}_{A\Sigma}x_{1\Sigma}}{\left(x_{1\Sigma} + x_{\Delta}^{(n)}\right)\mathbf{E}_{A\Sigma}} = \frac{m^{(n)}x_{1\Sigma}}{x_{1\Sigma} + x_{\Delta}^{(n)}}.$$

$x_{2\Sigma} \approx x_{1\Sigma}$ olduğunu nəzərə almaqla birfazalı və üçfazalı QQ üçün bu nisbət aşağıdakı şəkili alacaq

$$\frac{I_K^{(1)}}{I_K^{(3)}} = \frac{3}{\left(1 + \dfrac{x_{0\Sigma} + x_{2\Sigma}}{x_{1\Sigma}}\right)} = \frac{3}{2 + \dfrac{x_{0\Sigma}}{x_{1\Sigma}}}.$$

Sıfır ardıcıllıqlı ümumi müqavimət çox geniş həddə dəyişir ($0 < x_{0\Sigma} < \infty$). Onda, cərəyanların nisbəti aşağıdakı kimi təyin olunur:

$$\frac{3}{2} > \frac{I_K^{(1)}}{I_K^{(3)}} > 0.$$

Eyni şərtlərlə ikifazalı QQ üçün

$$\sqrt{3} > \frac{I_K^{(2)}}{I_K^{(3)}} > \frac{\sqrt{3}}{2} \text{ olar.}$$

$x_{1\Sigma} >> x_{2\Sigma}$ zamanı $I_K^{(2)}/I_K^{(3)} < \sqrt{3}$ nisbətinin yuxarı sərhədi generatorun yaxınlığında olan QQ –nın qərarlaşmış rejimi üçün xarakterikdir.

İkifazalı yerlə QQ cərəyanlarının nisbəti aşağıdakı şəkildə olacaq.

$$\frac{I_K^{(1.1)}}{I_K^{(3)}} = \frac{\sqrt{3}\sqrt{1+\dfrac{x_{0\Sigma}x_{2\Sigma}}{\left(x_{0\Sigma}+x_{2\Sigma}\right)^2}}}{1+\dfrac{x_{0\Sigma}x_{2\Sigma}}{\left(x_{0\Sigma}+x_{2\Sigma}\right)x_{1\Sigma}}}$$

$x_{1\Sigma} \cong x_{2\Sigma}$ olduqda bu ifadının surətində və məxrəcində ∞/∞ tipində qeyri – müəyyənlik yaranır. Onları açaraq aşağıdakını alarıq.

$$\lim_{x_{0\Sigma}\to\infty} \frac{\sqrt{3}\sqrt{1-\dfrac{x_{0\Sigma}x_{2\Sigma}}{\left(x_{0\Sigma}+x_{2\Sigma}\right)^2}}}{1+\dfrac{x_{0\Sigma}x_{2\Sigma}}{\left(x_{0\Sigma}+x_{2\Sigma}\right)x_{1\Sigma}}} = \frac{\sqrt{3}}{2}\lim_{x_{0\Sigma}\to\infty}\left[\frac{\sqrt{\dfrac{x_{0\Sigma}^2+x_{0\Sigma}x_{2\Sigma}+x_{2\Sigma}^2}{x_{0\Sigma}^2+2x_{0\Sigma}x_{2\Sigma}+x_{2\Sigma}^2}}}{\left(1+\dfrac{x_{0\Sigma}x_{2\Sigma}}{\left(x_{0\Sigma}+x_{2\Sigma}\right)x_{1\Sigma}}\right)}\right] =$$

$$= \sqrt{3}\lim_{x_{0\Sigma}\to\infty}\frac{\sqrt{\dfrac{1+x_{2\Sigma}/x_{0\Sigma}+x_{2\Sigma}^2/x_{0\Sigma}^2}{1+2x_{2\Sigma}/x_{0\Sigma}+x_{2\Sigma}^2/x_{0\Sigma}^2}}}{2} = \frac{\sqrt{3}}{2}$$

Beləliklə,

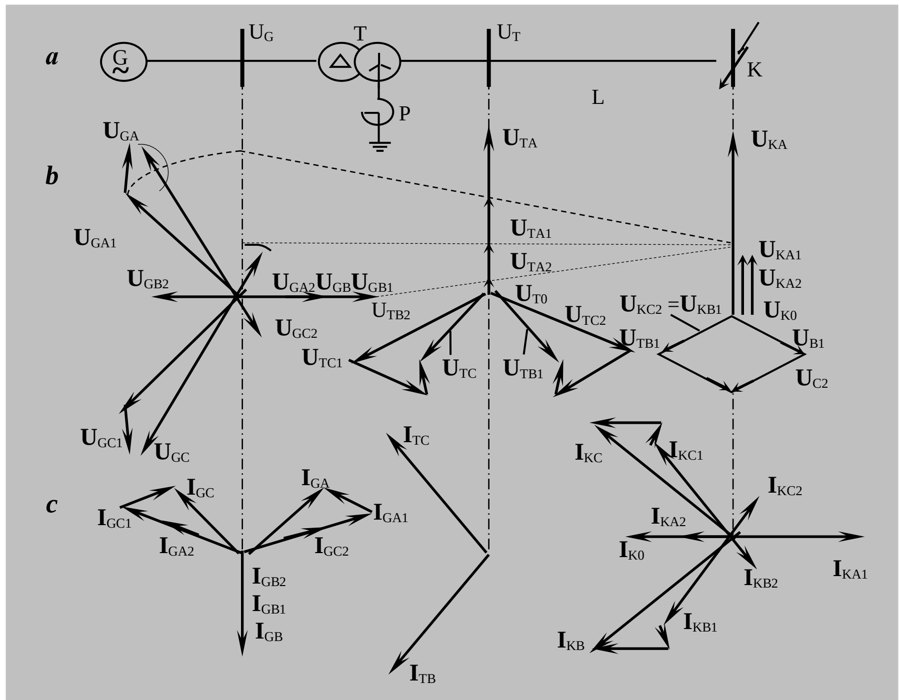
$\sqrt{3} > I_K^{(1.1)}/I_K^{(3)} > \sqrt{3}/2$ alarıq.

Alınmış nisbətlərdən görünür ki, $x_{0\Sigma}$ müqavimətinin kiçik qiymətlərində qeyri – simmetrik QQ –nın cərəyanları üçfazalı QQ cərəyanından xeyli yüksək olur. Sıfır ardıcıllıqlının ümumi müqaviməti sistemdə olan yerlə birləşdirilmiş neytralların sayından asılıdır. Sistemdə əlaqələrin və transformatorların sayının artması zaman $x_{0\Sigma}$ azalmağa başlayır. Bu isə öz növbəsində qeyri – simmetrik QQ–in cərəyanlarını artırır və açarların iş şəraitini çətinləşdirir.

5.4.7. Elektrik sistemində simmetrik mürəkkəbələrin paylanması

Cərəyan və gərginlik üçün əvvəlki bölmələrdə aldığımız vektor diaqramları və ifadələr QQ nöqtəsində rejimin parametrləri nisbətinin tam təsvirini verir. Lakin, çox zaman rele mühafizəsinin və ya kommutasiya aparatlarının ölçmə orqanlarının quraşdırıldığı yerdə olan parametrlər praktiki maraq kəsb edir. QQ yerindən elektriki uzaq nöqtələrdə QQ cərəyanlarının və ya gərginliklərinin səviyyəsinin qiymətləndirilməsi məsələsi ortaya çıxır.

Sxemi şəkil 5.20, *a* –da göstərilən sistemdə ikifazalı yerlə QQ zamanı gərginlik və cərəyanların vektor diaqramlarının dəyişməsinə baxaq.



Şəkil 5.20. QQ nöqtəsindən elektriki uzaq qovşaqlarda gərginlik və cəəyanların diaqramları: *a* - prinsipial sxemi, *b* – gərginliklərin diaqramı, *c* – cərəyanların diaqramı

QQ yerində gərginliklərin vektor diaqramı $U_{KA1} = U_{KA2} = U_{K0}$ bərabərliyi nəzərə alınmaqla qurulur. Transformatorun YG şinlərində (T nöqtəsi) diaqramı

qurmaq üçün gərginliyin simmetrik mürəkkəbəsinin hər birinin dəyişməsini ayrıca təyin etmək lazımdır.

Düz ardıcıllıq gərginliyi QQ yerindən uzaqlaşdıqca artacaq və D nöqtəsində

$$\mathbf{U}_{TA1} = \mathbf{U}_{KA1} + j\mathbf{I}_{LA1}x_L,$$

bərabər olacaq,

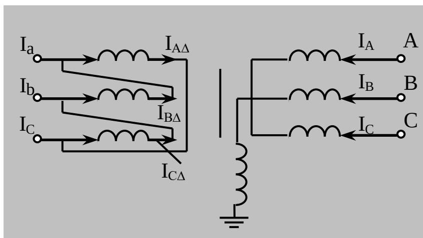
burada
$$\mathbf{I}_{LA1} = \frac{\mathbf{E}_{A\Sigma} - \mathbf{U}_{KA1}}{j\left(x_G + x_T + x_L\right)}.$$

Gərginliyin simmetrik mürəkkəbəsi U_{TA1} –in transformasiyası transformatorun birləşmə qrupu ilə təyin olunur. Elektrik sistemində ən geniş yayılmış Δ/ Ұ – 11 birləşmə qrupu üçün transformatorun üçxətli əvəz sxeminə baxaq (şəkil 5.21).

Faza dolaqlarının sarğılar sayını ω_Y və ω_Δ qəbul edərək transformasiya əmsalını yüksüz işləmədə fazalararası gərginliklərin nisbəti kimi təyin edək:

$$k = \sqrt{3}w_Y / w_\Delta.$$

Hesab edərək ki, $\mathbf{I}_A$, $\mathbf{I}_B$, $\mathbf{I}_C$ cərəyanları verilmişdir və şəkil 5.21 –də göstərilən istiqamətlərini onların müsbət istiqaməti kimi qəbul edərək aşağıdakıları yaza bilərik:



Şəkil 5.21. Transformatorun üçxətli əvəz sxemi

$$\mathbf{I}_a = \mathbf{I}_{a\Delta} - \mathbf{I}_{b\Delta} =$$

$$= \left(\mathbf{I}_A - \mathbf{I}_B\right)\frac{w_y}{w_\Delta} = \frac{\mathbf{I}_A - \mathbf{I}_B}{\sqrt{3}}k,$$

$$\mathbf{I}_b = \mathrm{I}_{b\Delta} - \mathbf{I}_{c\Delta} =$$

$$= \left(\mathbf{I}_B - \mathbf{I}_C\right)\frac{w_y}{w_\Delta} = \frac{\mathbf{I}_B - \mathrm{I}_C}{\sqrt{3}}k,$$

$$\mathbf{I}_c = \mathbf{I}_{c\Delta} - \mathbf{I}_{a\Delta} = \left(\mathbf{I}_C - \mathbf{I}_A\right)\frac{w_y}{w_\Delta} = \frac{\mathbf{I}_C - \mathbf{I}_A}{\sqrt{3}}k.$$

I_a cərəyanını onun simmertrik mürəkkəbəsi vasitəsilə ifadə edərək, yaza bilərik

$$\mathbf{I}_a = \frac{\mathbf{I}_{A1} + \mathbf{I}_{A2} + \mathbf{I}_0 - \mathbf{a}^2\mathbf{I}_{A1} - \mathbf{a}\mathbf{I}_{A2} - \mathbf{I}_0}{\sqrt{3}} k =$$

$$\frac{\left(1 - \mathbf{a}^2\right)\mathbf{I}_{A1} + \left(1 - \mathbf{a}\right)\mathbf{I}_{A2}}{\sqrt{3}} k = \left(\mathbf{I}_{A1} e^{j30^0} + \mathbf{I}_{A2} e^{-j30^0}\right) k. \qquad (5.30)$$

Həmçinin transformatordan sonrakı gərginlikləri tapmaq olar. Əgər U_{TA}, U_{TB}, U_{TC} - transformatorun yüksək tərəfində faza gərginlikləri olarsa, onda transformatorda gərginlik düşgüsü nəzərə alınmaqla onun alşaq tərəfindəki gərginlik aşağıdakı kimi təyin olunar:

$$\mathbf{U}_{T_A} = \frac{\mathbf{U}_{TA} - \mathbf{U}_{TB}}{\sqrt{3}} \frac{1}{k}, \qquad (5.31)$$

$$\mathbf{U}_{T_B} = \frac{\mathbf{U}_{TB} - \mathbf{U}_{TC}}{\sqrt{3}} \frac{1}{k},$$

$$\mathbf{U}_{T_C} = \frac{\mathbf{U}_{TC} - \mathbf{U}_{T}}{\sqrt{3}} \frac{1}{k}.$$

U_{Ta} gərginliyi üçün simmetrik mürəkkəbələr vasitəsilə gərginliyi ifadə etsək, alarıq

$$\mathbf{U}_{T_a} = \left(\mathbf{U}_{A1} e^{j30^0} + \mathbf{U}_{A2} e^{-j30^0}\right) \frac{1}{k}. \qquad (5.32)$$

(5.30) və (5.32) ifadələrindən görünür ki:

1)transformatorun alçaq tərəfində gərginlik və cərəyanların tərkibində sıfır ardıcıllıqlı mürəkkəbə yoxdur;

2)dolaqları Δ/ ¥ – 11 birləşdirilmiş transformatorun ulduz birləşdirilmiş tərəfdən üçbucaq tərəfə keçid zamanı düz ardıcıllığın gərginlik və cərəyan vektorları 30^o müsbət istiqamətə, əks ardıcıllığınkı isə 30^o mənfi istiqamətə tərəf çevrilir.

Əgər transformatorun N qrupası olarsa, onda üçbucaq birləşdirilmiş tərəfdə cərəyan və gərginliklər üçün ifadələr aşağıdakı şəkildə olacaq

$$\mathbf{I}_a = \left(\mathbf{I}_{A1} e^{-j30^0 N} + \mathbf{I}_{A2} e^{j30^0 N}\right) k,$$

$$\mathbf{U}_a = \left(\mathbf{U}_{A1} e^{-j30^0 N} + \mathbf{U}_{A2} e^{j30^0 N}\right)\frac{1}{k}.$$

Gərginliyin vektor diaqramına qayıdaraq transformatorun üçbucaq birləşdirilmiş alçaq tərəfinin düz ardıcıllıqlı gərginliyini aşağıdakı kimi yazmaq olar

$$\mathbf{U}_{GA1} = \left(\mathbf{U}_{TA1} + j\mathbf{I}_{LA1} x_T\right) e^{j30^0} \frac{1}{k}.$$

T nöqtəsində *əks – ardıcıllıqlı gərginlik* aşağıdakına bərabər olacaq

$$\mathbf{U}_{TA2} = \mathbf{U}_{KA2} - j\mathbf{I}_{LA2} x_L,$$

burada

$$\mathbf{I}_{LA2} = \frac{\mathbf{U}_{KA2}}{j\left(x_L + x_T + x_{G2}\right)}.$$

Transformatorun alçaq tərəfinə keçən zaman o bərabər olacaq

$$\mathbf{U}_{GA2} = \left(\mathbf{U}_{TA2} - j\mathbf{I}_{LA2} x_T\right) e^{-j30^0} \frac{1}{k}.$$

T nöqtəsində *sıfır – ardıcıllıqlı gərginlik* aşağıdakına bərabər olacaq

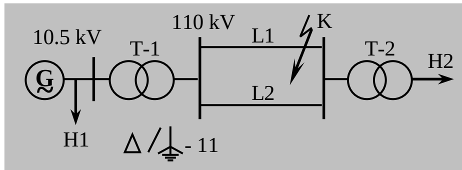
$$\mathbf{U}_{T0} = \mathbf{U}_{K0} - j\mathbf{I}_{L0} x_{L0},$$

burada

$$\mathbf{I}_{L0} = \frac{\mathbf{U}_{K0}}{j\left(x_{L0} + x_T + 3x_P\right)}.$$

Transformatorun alçaq tərəfinin gərginlik və cərəyanlarının vektor diaqramının tərkibində sıfır ardıcıllıqlı mürəkkəbə yoxdur. Sxemdə budaqlanma olmadığına görə *T* nöqtəsindəki cərəyanların vektor diaqramı QQ nöqtəsindəki cərəyanlar diaqramını təkrar edəcəkdir. Transformatorun alçaq gərginlik tərəfinə keçən zaman cərəyanın simmetrik mürəkkəbələri (5.31) tənliyinə müvafiq olaraq çevriləcəkdir. Cərəyanların vektor diaqramları şəkil 5.20, *c* – də göstərilib.

M ə s ə l ə 5.1. ES – in sxemində, şəkildə göstərilən nöqtələrdə növbə ilə müxtəlif qeyri – simmetrik QQ yaranır.



Tapşırıq:
1. Qeyri – simmetrik QQ yerində cərəyanları təyin edin.
2. T – 1 transformatorunun YG və AG şinlərində ikifazalı yerlə QQ –nın vektor diaqramlarını qurun.

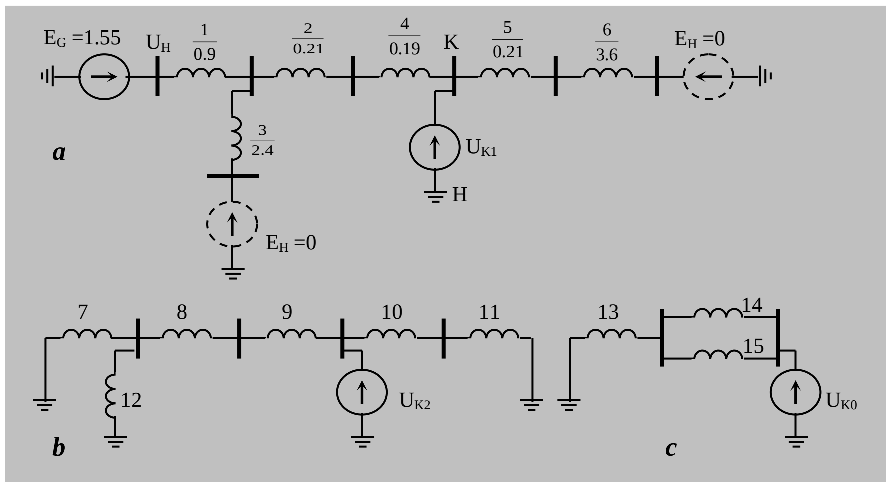
Sxemin parametrləri S_b = 120 MVA, $U_b = U_{or.g}$ olan bazis şərtlərinə gətirilmişdir.

$$X_{G1} = 0.9,\ X_{G2} = 0.45,\ E_C = 1.67,\ X_{T1} = X_{T2} = 0.21,\ X_{l1,2(1)} = 0.19,$$

$$X_{l1,2(0)} = 0.57,\ X_{H2} = 3.6,\ X_{H2(2)} = 1.05,\ X_{H1} = 2.4,\ X_{H1(2)} = 0.7.$$

H ə l l i

1. Düz (a), əks (b) və sıfır (c) ardıcıllıqlıların hesabatının əvəz sxemləri



2.**Qeyri simmetrik QQ cərəyanlarının hesabatı.**
Düz, əks və sıfır ardıcıllıqlıların ümumi müqavimətləri:

$$x_{1\Sigma} = \left[\left(x_1 // x_3\right) + x_2 + x_4\right] // \left(x_5 + x_6\right) =$$
$$= \left[\left(0.9 // 2.4\right) + 0.21 + 0.19\right] // \left(0.21 + 3.6\right) = 0.83,$$
$$x_{2\Sigma} = \left[\left(x_7 // x_{12}\right) + x_8 + x_9\right] // \left(x_{10} + x_{11}\right) =$$
$$= \left[\left(0.45 // 0.7\right) + 0.21 + 0.19\right] // \left(0.21 + 1.05\right) = 0.44,$$

$$x_{0\Sigma} = x_{13} + (x_{14} + x_{15}) = 0.21 + 0.57 = 0.78.$$

Generator – yük A1 –in ekvivalent EHQ

$$E_{ekv} = \frac{E_G x_H + E_H x_G}{x_H + x_G} = \frac{1.67 \cdot 2.4}{2.4 + 0.9} = 1.22.$$

Sxemin ümumi EHQ

$$E_{\Sigma} = \frac{E_{ekv}(x_5 + x_6)}{x_1 // x_3 + x_2 + x_4 + x_5 + x_6} = \frac{1.22 \cdot 3.81}{4.87} = 0.95.$$

QQ pilləsində bazis cərəyanı

$$I_b = \frac{S_b}{\sqrt{3}U_{or.nom}} = \frac{120}{\sqrt{3} \cdot 115} = 0.6\ kA.$$

Qısaqapanma yerində birfazalı QQ cərəyanının modulu

$$\left|I_{KA}^{(1)}\right| = m^{(1)} \frac{E_{\Sigma}}{x_{1\Sigma} + x_{\Delta}^{(1)}} I_b = 3 \frac{0.95}{0.83 + 0.44 + 0.78} 0.6 = 0.84 kA.$$

İkifazalı QQ cərəyanlarının modulları

$$\left|I_{KC}^{(2)}\right| = \left|I_{KB}^{(2)}\right| = m^{(2)} \frac{E_{\Sigma}}{x_{1\Sigma} + x_{\Delta}^{(2)}} I_b = \sqrt{3} \frac{0.95}{0.83 + 0.44} 0.6 = 0.77 kA.$$

İkifazalı yerlə QQ cərəyanlarının modulları

$$\left|I_{KB}^{(1.1)}\right| = \left|I_{KC}^{(1.1)}\right| = m^{(1.1)} \frac{E_{\Sigma}}{x_{1\Sigma} + x_{\Delta}^{(1.1)}} I_b = 1.52 \frac{0.95}{0.83(0.44 // 0.78)} 0.6 = 0.78 kA,$$

burada

$$m^{(1.1)} = \sqrt{3} \sqrt{1 - \frac{x_{2\Sigma} x_{0\Sigma}}{(x_{2\Sigma} + x_{0\Sigma})^2}} = \sqrt{3} \sqrt{1 - \frac{0.44 \cdot 0.78}{(0.44 + 0.78)^2}} = 1.52.$$

3. İkifazalı yerlə QQ üçün T – 1 transformatorunun yüksək gərginlik tərəfində cərəyan və gərginliklərin vektor diaqramlarının qurulması

QQ yerində düz ardıcıllıqlı cərəyan

$$I_{KA1} = \frac{E_{\Sigma}}{x_{1\Sigma} + x_{\Delta}^{(1.1)}} = \frac{0.95}{0.83 + 0.28} = 0.86.$$

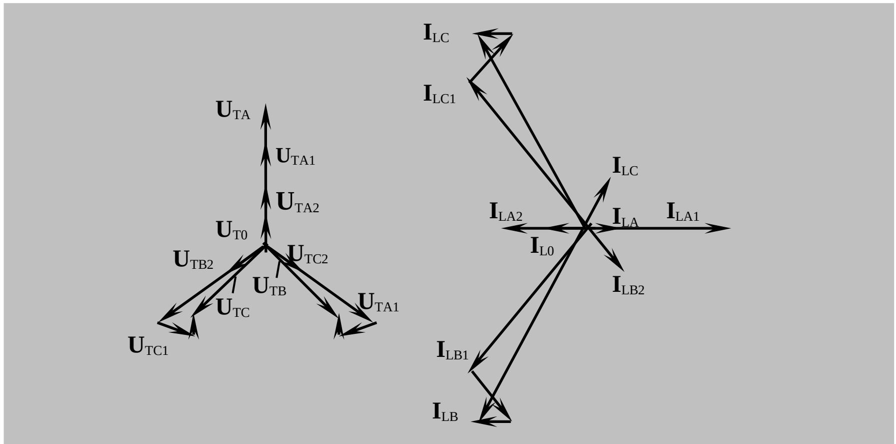
Əks və sıfır ardıcıllıqlı cərəyanlar

$$I_{KA2} = -I_{KA1}\frac{x_{0\Sigma}}{x_{2\Sigma}+x_{0\Sigma}} = -0.86\frac{0.78}{0.78+0.44} = -0.55,$$

$$I_{K0} = -I_{KA1}\frac{x_{2\Sigma}}{x_{2\Sigma}+x_{0\Sigma}} = -0.86\frac{0.44}{0.78+0.44} = -0.31.$$

QQ yerində müxtəlif ardıcıllıqların gərginliyi

$$U_{KA1} = U_{KA2} = U_{K0} = I_{KA1}jx_{1\Sigma} = j0.86\cdot 0.28 = j0.24.$$



$L1$, $L2$ xətlərində düz, əks və sıfır ardıcıllıqlıların cərəyanları

$$I_{LA1} = \frac{j(E_{ekv} - U_{KA1})}{j[(x_1 // x_3) + x_2 + x_4]} = \frac{1.22 - 0.24}{1.06} = 0.92,$$

$$I_{LA2} = \frac{U_{KA2}}{(x_7 // x_{12}) + x_6 + x_9} = \frac{0.24}{0.67} = -0.36.$$

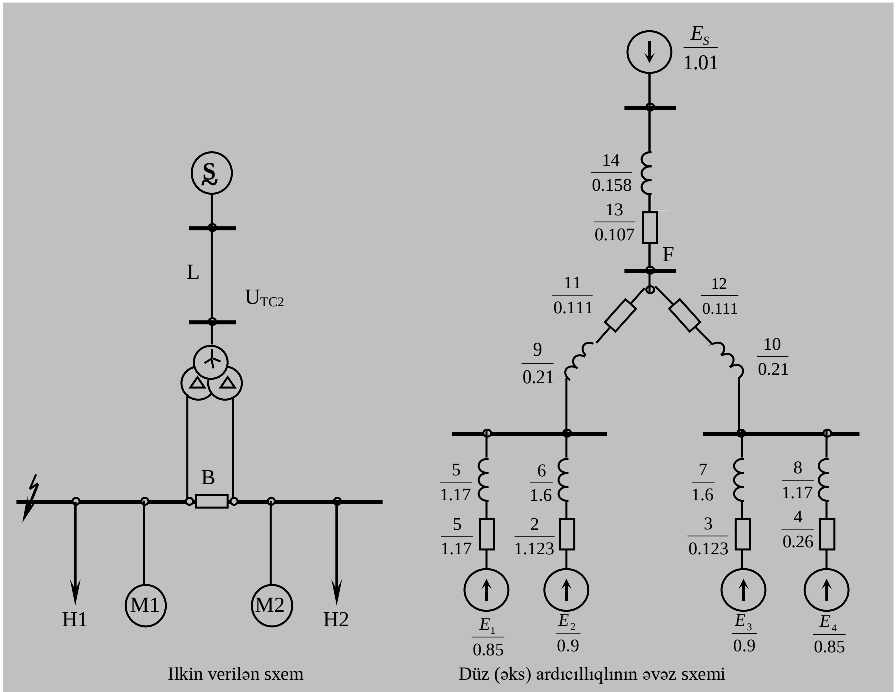
$$I_{L0} = I_{K0} = -0.31.$$

T – 1 – in yüksək gərginlik şinində düz, əks və sıfır ardıcıllıqlıların gərginliklər:

$$U_{TA1} = jU_{KA1} + jI_{LA1}x_{L1,2} = j0.24 + j0.92 \cdot 0.19 = j0.42,$$
$$U_{TA2} = jU_{KA2} + jI_{LA2}x_{L1,2} = j0.24 - j0.36 \cdot 0.19 = j0.17,$$
$$U_{T0} = jU_{K0} + jI_{L0}x_{L1,2\,(0)} = j0.24 - j0.31 \cdot 0.57 = j0.06,$$

Cərəyan və gərginliklərin vektor diaqramları bundan əvvəlki səhifədə verilmişdir

M ə s ə l ə 5.2. Şəkildə verilən prinsipial sxem üçün K nöqtəsində ikifazalı qısaqapanma zamanı zərbə cərəyanının qiymətini təyin edin və başlanğıc cərəyanların paylanmasını tapın. Sxedmin elementləti aşağıda verilən məlumatlarla xarakterizə olunur:



Ilkin verilən sxem   Düz (əks) ardıcıllıqlının əvəz sxemi

xətt L: 130 km, naqil AC – 120, x = 0,4 Om/km, r =0.27 Om/km;

transformator T: 40 MVA, 115/6.3kV, U_{qq} = 10.5%, Ұ/Δ – 11, alçaq gərginlik dolağı iki paralel budaqlanmaya bölünüb, P = 222 kVt;

yüksək H1 və H2 bərabərdirlər hər biri 12 MVA;

orta ümumiləşdirilmiş yük $E_0^n = 0.85, x^n = 0.35$;

asinxron mühərriklər M1 və M2 eynidirlər, hər biri 5 MVA, 6kV, $I_{iş.sal}$ = 4.55, bundan əvvəlki rejimdə cosφ = 0.8 və U = 6 kV zamanı 2.1 MVA yüklə işləmişlər.

H ə l l i. Əvəz sxeminin elementləri (açar A açıqdır) S_b = 40 MVA və $U_b = U_{or}$ zamanı nisbi vahidlərdə ifadə olunmuş EHQ və müqavimətləri aşağıda verilən qiymətlərlə xarakterizə olunurlar:

$$E_1 \approx E_2 = \left(U_{nom} - \frac{S_{qıız}}{S_{nom}} \frac{1}{I_{pusk}} \sin\varphi \right) \frac{U_{nom}}{U_b} = \left(1 - \frac{2.1}{5} \frac{1}{4.55} 0.6 \right) \frac{6}{6.3} = 0.9,$$

$$x_1 = x_2 = \frac{1}{4.55} \frac{40}{5} \left(\frac{6}{6.3} \right)^2 = 1.6.$$

Mühərrikin aktiv müqavimətini qiymətləndirmək üçün şəkil 4.11 – də verilən əyrilərdən istifadə edək. Verilmiş gücdə olan mühərrik üçün K_y = 1.8, ona x / r = 13 nisbəti uyğundu, beləliklə:

$$r_2 = r_3 = \frac{1.6}{13} = 12.3 \cdot 10^{-2}.$$

Yüklərin müqaviməti və onların EHQ – ləri

$$x_5 = x_8 = 0.35 \frac{40}{12} = 1.17, \quad r_1 = r_4 = \frac{117}{4.5} = 26 \cdot 10^{-2}, \quad E_1 = E_4 = 0.85.$$

Transformatorun əvəz sxeminin budaqlarının müqavimətləri:

$$x_9 = x_{10} = 2 \cdot 0.105 = 0.21, \quad r_{11} = r_{12} = \frac{0.222}{40} 2 = 1.11 \cdot 10^{-2}.$$

Xəttin müqavimətləri:

$$x_{14} = 0.4 \cdot 130 \frac{40}{115^2} = 0.158 \quad \text{və} \quad x_{13} = 0.158 \frac{0.27}{0.4} = 0.107.$$

Sistemin EHQ – si $E_5 = 116.5/115 = 1.01.$

Yekun EHQ – ni və düz ardıcıllıqlı sxemin reaktivliyini tapaq:

$$x_{15} = x_{16} = 1.6 // 1.17 = 0.676, \qquad E_6 = E_7 = 0.85 // 0.9 = 0.87,$$

$$x_{17} = 0.158 // (0.676 + 0.21) = 0.134,$$

$$E_8 = E_5 // E_6 = 1.01 // 0.87 = 0.99, \qquad x_{18} = 0.134 + 0.21 = 0.344,$$

$$x_{1\Sigma} = 0.344 // E0.676 = 0.228, \qquad E_{\Sigma} = E_8 // E_7 = 0.99 // 0.87 = 0.95.$$

Bu halda əks ardıcıllıq sxemini almaq üçün şəkildə göstərilən əvəz sxemində müqavimətlərin əvvəlki qiymətlərini szxlamaqla bütün EHQ – ləri sıfıra bərabər edilməsi kifayətdir. Beləliklə də qısaqapanma nöqtəsinə nəzarən əks ardıcıllığın yekun reaktivliyi $x_{2\Sigma} = 0.228$ - ə bərabərdir.

Aktiv müqaviməti nəzərdən ataraq qısaqapanma yerində düz ardıcıllıqlının cərəyanın modulunu tapaq

$$I_{K1} = \frac{0.95}{2 \cdot 0.228} = 2.08$$

və gərginliyi

$$U_{K1} = 2.08 \cdot 0.228 = 0.475$$

M1 mühərrikindən və H1 yükündən düz ardıcıllıqlı cərəyan

$$I_1 = \frac{0.87 - 0.475}{0.676} = 0.58.$$

Transformator vasitəsilə qısaqapanma yerinə düz ardıcıllıqlı $I_1 = 2.08 - 0.58 = 1.1.5.$ cərəyanı axır. Sxemin F nöqtəsində düz ardıcıllığın gərginliyi $U_F = 0.475 + 1.5 \cdot 0.21 = 0.79$ - sa bərabərdir.

M2 mühərrikindən və H2 yükündən düz ardıcıllıqlı cərəyan

$$I_{1M-H} = \frac{0.87 - 0.79}{0.676 + 0.21} = 0.09$$

və sistemdən

$$I_{1C} = 1.5 - 0.09 = 1.41.$$

Zədələnmiş fazada əks ardıcıllıq cərəyanı $I_{K2} = -2.28$ və onun paylanması aşağıdakı kimi alınır və onun paylanması aşağıdakı kimi alınır:

M1 mühəttiki və H1 yükündən $I_{2M-H1} = -0.7$

M2 mühəttiki və H2 yükündən $I_{2M-H2} = -0.2$

Beləliklə sağlam və zədələnmiş fazalarda cərəyanların başlanğıc cərəyanlarım başlanğıc qiymətləri aşağıdakı kimi olacaq:

M1 və H1 – də $I_A = 0.58 - 0.7 = -0.12, \qquad I_B = I_C = \left| a^2 \cdot 0.58 - a \cdot 0.7 \right| = 1.11;$

M2 və H2 – də $I_A = 0.09 - 0.21 = -0.12, \qquad I_B = I_C = \left| a^2 \cdot 0.09 - a \cdot 0.21 \right| = 0.24;$

sistemdən (dolaqların verilmiş birləşməsi ilə transformatordan keçmə nəzərə alınmaqla)

$$I_A = I_B = \left| 1.4e^{-j30^o} - 1.17e^{j30^o} \right| = 2.24, \qquad I_C = 1.41 + 1.17 = 2.58.$$

Təyin olunmuş nisbi cərəyanları adlı vahidlərdə almaq üçün onları transformatorun alçaq tərəfində $I_b = \frac{40}{\sqrt{3} \cdot 6.3} = 3.67$ kA - ə, yüksək tərəfində isə $I_b = \frac{40}{\sqrt{3} \cdot 115} = 0.2$ kA - ə vurmaq lazımdır.

Ekvivalent zaman sabiti $T_{a\ ekv}$ – ni təyin etmək üçün sxemin yekun aktiv müqavimətini (bütün reaktivliklərinsıfıra bərabər olmasını nəzərdə tutaraq) tapırıq $r_{1\Sigma} = 3.54 \cdot 10^{-2}$. Zaman sabitini hesablayaq

$$T_{a\ ekv}^{(2)} = T_{a\ ekv}^{(3)} = \frac{0.228}{314 \cdot 3.54} 10^2 = 0.0204 \text{ san,}$$

bu halda zərbə cərəyanı $k_z = 1 + e^{-0.01/0.0204} = 1 + 0.61 = 1.61.$ Qısaqapanmanın zərbə cərəyanınınaxtarılan qiyməti $k_z = 1.61\sqrt{2}\sqrt{3} \cdot 2.08 \cdot 3.67 = 30.2$ kA təşkil edir.

5.5. BİRQAT UZUNUNA QEYRİ - SİMMETRİKLİK

Uzununa qeyri – simmetriklik bir və ya iki fazanın qırılması, həmçinin fazaları bir – birinə bərabər olmayan müqavimətlər (məs. qeyri – simmetrik yük) qoşulan zaman baş verir.

İki növ qeyri – simmetriklik halı üçün qeyri – simmetrik rejimin parametrləri arasında nisbətə baxaq: a) bir və ya iki fazanın qırılması halında; b) fazalara qeyri – simmetrik yük qoşulması halında. Sxemlərdə gərginlik düşgülərinin düz, əks və sıfır ardıcıllıqlıların tənlikləri (5.6) ÷ (5.8) –ə oxşar şəkildədir.

$$\Delta\mathbf{U}_{LA1} = \mathbf{E}_{A\Sigma} - jx_{L1\Sigma}\mathbf{I}_{LA1}, \qquad (5.33)$$

$$\Delta\mathbf{U}_{LA2} = 0 - jx_{L2\Sigma}\mathbf{I}_{LA2}, \qquad (5.34)$$

$$\Delta\mathbf{U}_{L0} = 0 - jx_{L0\Sigma}\mathbf{I}_{L0}, \qquad (5.35)$$

burada ΔU_{LA1}, ΔU_{LA2} , ΔU_{L0} – sistemin qeyri – simmetrik sahəsində A fazasında gərginlik düşgüsünün simmetrik mürəkkəbələridirlər; $x_{L1\Sigma}$, $x_{L2\Sigma}$, $x_{L0\Sigma}$ – qeyri – simmetrik yerinə nisbətən müvafiq ardıcıllıqların sxeminin yekun reaktivliyidir; L–indeksi qeyri – simmetrik rejimlərin parametrlərini göstərir.

5.5.1. Bir fazanın qırılması

Qırılma yerində sərhəd şərtləti (şəkil 5.22):

$$\mathbf{I}_{LA} = 0, \qquad (5.36)$$

$$\Delta\mathbf{U}_{LB} = 0, \qquad (5.37)$$

$$\Delta\mathbf{U}_{LC} = 0. \qquad (5.38)$$

(5.37) və (5.38) şərtləri aşağıdakı bərabərliyi olmağa imkan verir:

$$\Delta\mathbf{U}_{LA1} = \Delta\mathbf{U}_{LA2} = \Delta\mathbf{U}_{L0} = \frac{1}{3}\Delta\mathbf{U}_{LA}. \qquad (5.39)$$

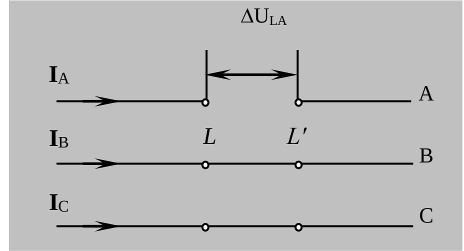
(5.36) nəzərə almaqla yaza bilərik

$$\mathbf{I}_{LA1} + \mathbf{I}_{LA2} + \mathbf{I}_{L0} = 0. \qquad (5.40)$$

(5.39) nəzərə almaqla (5.34) və (5.35) –dən alarıq

$$\mathbf{I}_{LA2} = -\frac{\Delta\mathbf{U}_{LA1}}{jx_{L2\Sigma}}, \qquad (5.41)$$

$$\mathbf{I}_{L0} = -\frac{\Delta\mathbf{U}_{LA1}}{jx_{L0\Sigma}}. \qquad (5.42)$$



Şəkil 5.22. Bir fazanın qırılmasının prinsipial sxemi

(5.41) və (5.42) formulalarını (5.40) –da yerinə yazsaq

$$\Delta\mathbf{U}_{LA1} = jx_{\Delta L}\mathbf{I}_{LA1}, \qquad (5.43)$$

alarıq, burada $x_{\Delta L} = x_{L2\Sigma} // x_{L0\Sigma}$

(5.43) nəzərə alaraq (5.33) formulasından cərəyanın düz ardıcıllığı üçün aşağıdakı ifadəni alarıq

$$\mathbf{I}_{LA1} = \frac{\mathbf{E}_{A\Sigma}}{j(x_{L1\Sigma} + x_{\Delta L})}. \qquad (5.44)$$

(5.43) ifadəsini (5.41) və (5.42) – də yerinə yazaraq düz və əks ardıcıllıqlı cərəyanlar üçün aşağıdakı ifadələri alarıq

$$\mathbf{I}_{LA2} = -\frac{x_{L0\Sigma}}{x_{L2\Sigma} + x_{L0\Sigma}}\mathbf{I}_{LA1}, \qquad (5.45)$$

$$\mathbf{I}_{L0} = -\frac{x_{L2\Sigma}}{x_{L2\Sigma} + x_{L0\Sigma}}\mathbf{I}_{LA1}. \qquad (5.46)$$

Zədələnmiş fazalardakı cərəyanlar *A* fazasının cərəyanının simmetrik mürəkkəbələri vasitəsilə aşağıdakı kimi ifadə olunurlar:

$$\mathbf{I}_{LB} = \mathbf{a}^2\mathbf{I}_{LA1} + \mathbf{a}\mathbf{I}_{LA2} + \mathbf{I}_{L0} = \mathbf{a}^2\mathbf{I}_{LA1} - \mathbf{a}\frac{x_{L0\Sigma}}{x_{L2\Sigma}+x_{L0\Sigma}}\mathbf{I}_{LA1} - \frac{x_{L2\Sigma}}{x_{L2\Sigma}+x_{L0\Sigma}}\mathbf{I}_{LA1} = \left(\mathbf{a}^2 - \frac{x_{L2\Sigma}+\mathbf{a}x_{L0\Sigma}}{x_{L2\Sigma}+x_{L0\Sigma}}\right)\mathbf{I}_{LA1}, \tag{5.47}$$

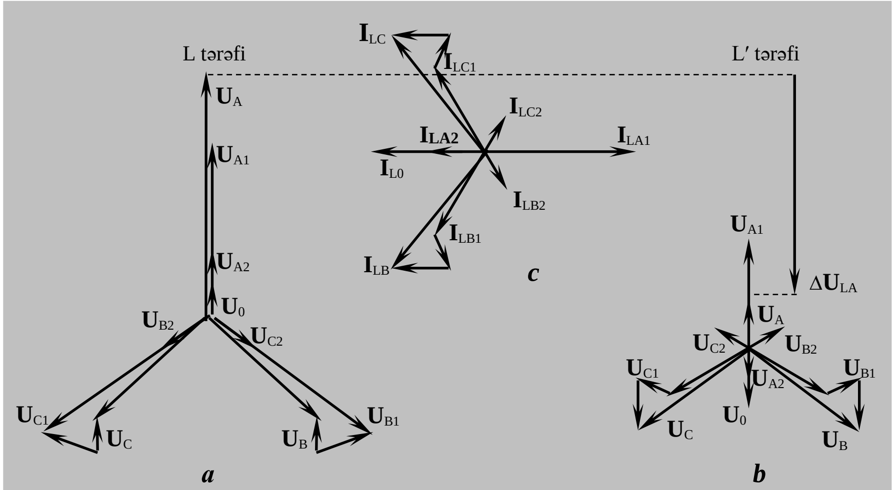
$$\mathbf{I}_{LC} = \left(\mathbf{a} - \frac{x_{L2\Sigma}+\mathbf{a}^2x_{L0\Sigma}}{x_{L2\Sigma}+x_{L0\Sigma}}\right)\mathbf{I}_{LA1} \tag{5.48}$$

Fazanın qırılma yerindəki gərginlik düşgüsü

$$\Delta\mathbf{U}_{LA} = 3\mathbf{I}_{LA1}\,jx_{\Delta L}. \tag{5.49}$$

ifadə ilə təyin olunur:

Gərginlik və cərəyanların vektor diaqramları şəkil 5.23 –də göstərilib.



Şəkil 5.23. Bir fazanın qırılması zamanı vektor diaqramları:
a, b - qırılma nöqtəsindəki gərginliklər, *c* – qırılma nöqtəsindəki cərəyanlar

Qırılma yerindən hər hansı bir tərəfə gərginliyi təyin etmək üçün həmin tərəfin gərginliyinin mürəkkəbələrini hesablayırlar. Onlara $\Delta\mathbf{U}_{LA1}$, $\Delta\mathbf{U}_{LA2}$, $\Delta\mathbf{U}_{L0}$ əlavə edərək digər tərəfin gərginliyinin simmetrik mürəkkəbələrini təyin edirlər.

Eyni adlı fazaların simmetrik mürəkkəbələrinin gərginliklərini toplayaraq qırılma yerində fazanın gərginliyini tapırlar. Aydındır ki, qırılmanın kənarları üzrə zədələnməmiş fazaların gərginlikləri bir – birinə bərabərdir.

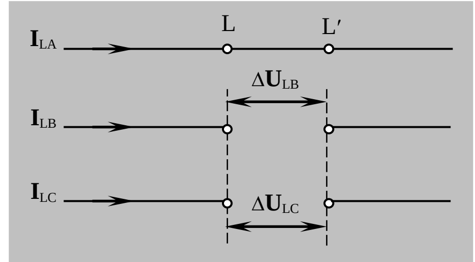
5.5.2. İki fazanın qırılması

Qırılma yerində sərhəd şərtləri (şəkil 5.24):

$$\Delta\mathbf{I}_{LB} = 0, \qquad (5.50)$$

$$\Delta\mathbf{I}_{LC} = 0, \qquad (5.51)$$

$$\Delta\mathbf{U}_{LA} = 0. \qquad (5.52)$$



Şəkil 5.24. İki fazanın qırılması

(5.50) və (5.51) bərabərliklərinə uyğun olaraq, alarıq:

$$\mathbf{I}_{LA1} = \mathbf{I}_{LA2} = \mathbf{I}_{L0} = \frac{1}{3}\mathbf{I}_{LA}, \qquad (5.53)$$

(5.52) – ni nəzərə alaraq aşağıdakını yazmaq olar:

$$\Delta\mathbf{U}_{LA1} + \Delta\mathbf{U}_{LA2} + \Delta\mathbf{U}_{L0} = 0. \qquad (5.54)$$

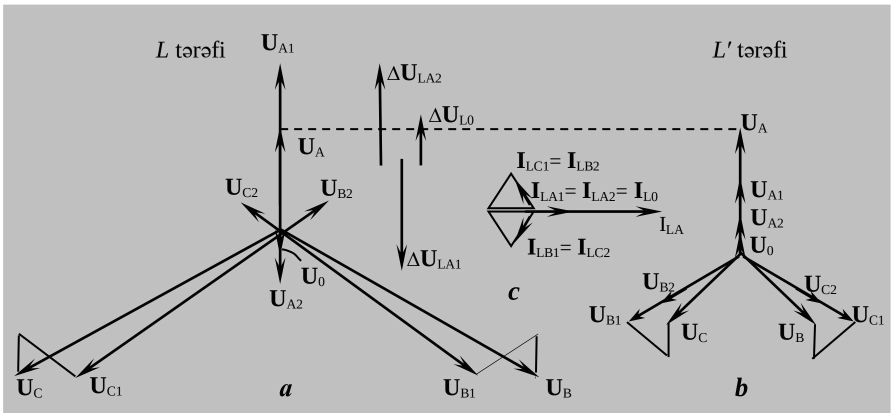
(5.33) ÷ (5.35) bərabərliklərinin sağ tərəfini toplayaraq və (5.53) nisbətini nəzərə alaraq:

$$\mathbf{I}_{LA1} = \frac{\mathbf{E}_{A\Sigma}}{j(x_{L1\Sigma} + x_{\Delta L})}, \qquad (5.55)$$

burada $x_{\Delta L} = x_{L2\Sigma} + x_{L0\Sigma}$.

(5.53) nəzərə alınmaqla faza cərəyanı üçün aşağıdakı ifadə doğrudur

$$\mathbf{I}_{LA} = 3\mathbf{I}_{LA1}. \qquad (5.56)$$



Şəkil 5.25. İki fazanın qırılma yerində gərginlik və cərəyanların vektor diaqramları

Qırılma yerində faza gərginlikləri fərginin simmetrik mürəkkəbələrini (5.33) ÷ (5.35) formulaları üzrə təyin edilir.

Gərginlik və cərəyanların vektor diaqramları şəkil 5.25 –də göstərilib.

5.5.3. Müqavimətin qoşulmasından yaranan qeyri - simmetriklik

Bir və ya iki fazaya Z müqavimətinin ardıcıl qoşulmasına baxaq. Belə hal açarın kontaktlarının eyni zamanda aralanması və ya qeyri – simmetrik yükün qoşulması zamanı baş verə bilər.

Sərhəd şərtləri (şəkil 5.26, *a*):

a) müqavimətin bir fazaya qoşulması zamanı:

$$\Delta\mathbf{U}_{LB} = \Delta\mathbf{U}_{LC} = 0, \quad \Delta\mathbf{U}_{LA} = \mathbf{ZI}_{LA};$$

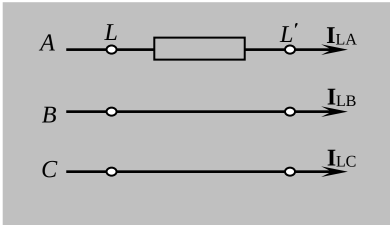
b) müqavimətin iki fazaya qoşulması zamanı (şəkil 5.26, *b*):

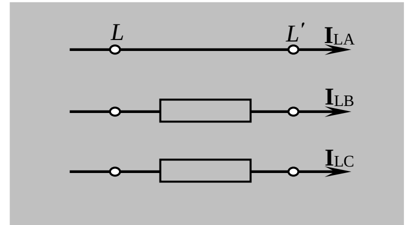
$$\Delta\mathbf{U}_{LA} = 0, \quad \Delta\mathbf{U}_{LB} = \mathbf{ZI}_{LB}, \quad \Delta\mathbf{U}_{LC} = \mathbf{ZI}_{LC}.$$

Sərhəd şərtləri nəzərə alınmaqla müqavimətin bir fazaya qoşulma halı üçün yaza bilərik:

$$\Delta\mathbf{U}_{LA1} = \Delta\mathbf{U}_{LA2} = \Delta\mathbf{U}_{L0} = \frac{1}{3}\Delta\mathbf{U}_{LA},$$

$$\mathbf{Z}\left(\mathbf{I}_{LA1} + \mathbf{I}_{LA2} + \mathbf{I}_{L0}\right) = 3\Delta\mathbf{U}_{LA1}. \qquad (5.57)$$





Şəkil 5.26. Müqavimətin qoşulmasından yaranan qeyri – simmetriklik: *a* – bir fazaya, *b* – iki fazaya

(5.33) ifadəsini (5.57) –də yerinə yazaq və (5.34) və (5.35) –dən $\mathbf{I}_{LA2}$ və $\mathbf{I}_{L0}$ təyin edərək aşağıdakını yaza bilərik:

$$\mathbf{I}_{LA1} = \frac{\mathbf{E}_{A\Sigma}}{jx_{L1} + \mathbf{Z}_{\Delta}^{(1)}}, \qquad (5.58)$$

burada

$$\mathbf{Z}_{\Delta}^{(1)} = \frac{\mathbf{Z}}{3} // jx_{L2\Sigma} // jx_{L0\Sigma}. \qquad (5.59)$$

Əgər 5.5.1 bəndində $x_{\Delta}^{(1)}$ müqavimətini (5.59) formulası ilə təyin olunan $\mathbf{Z}_{\Delta}^{(1)}$ müqaviməti ilə əvəz etsək 5.5.1 bəndində alınmış bütün ifadələr bu hal üçün də düzgün hesab olunar.

İki eyni müqavimətin *B* və *C* fazalarına qoşulması halı üçün əlavə müqavimət $\mathbf{Z}_{\Delta}^{(2)}$ aşağıdakı kimi təyin olunacaq.

$$\mathbf{Z}_{\Delta}^{(2)} = \left[\left(\mathbf{Z} // jx_{L0\Sigma}\right) + \left(\mathbf{Z} // jx_{L2\Sigma}\right)\right] // \mathbf{Z}. \qquad (5.60)$$

Qeyri simmetriklik yerində cərəyan və gərginliklərin simmetrik mürəkkəbələri üçün ifadə aşağıdakı kimidir

$$\mathbf{I}_{LA1} = \frac{\mathbf{E}_{A\Sigma}}{jx_{L1\Sigma} + \mathbf{Z}_{\Delta}^{(2)}}, \quad \mathbf{I}_{LA2} = -\mathbf{I}_{LA1}\frac{\mathbf{Z}_{\Delta}^{(2)}}{\mathbf{Z} + jx_{L2\Sigma}},$$

$$\mathbf{I}_{L0} = -\mathbf{I}_{LA1}\frac{\mathbf{Z}_{\Delta}^{(2)}}{\mathbf{Z} + jx_{L0\Sigma}}, \quad \Delta\mathbf{U}_{LA1} = \mathbf{I}_{LA1}\mathbf{Z}_{\Delta}^{(2)}, \qquad (5.61)$$

$$\Delta\mathbf{U}_{LA2} = \mathbf{I}_{LA1}\frac{\left(\mathbf{Z} - \mathbf{Z}_{\Delta}^{(2)}\right)jx_{L2\Sigma}}{\mathbf{Z} + jx_{L2\Sigma}}, \quad \Delta\mathbf{U}_{L0} = \mathbf{I}_{LA1}\frac{\left(\mathbf{Z} - \mathbf{Z}_{\Delta}^{(2)}\right)jx_{L0\Sigma}}{\mathbf{Z} + jx_{L0\Sigma}}.$$

(5.61) bərabərliklərini, həmçinin (5.58), (5.59), (5.41) ÷ (5.56) ifadələrini təhlil edərək aşağıda verilən nəticəyə gəlirik:

1. Bir fazanın qırılması halı üçün alınmış ifadələr ikifazalı yerlə QQ zamanı, iki fazanın qırılma halı üçün isə bir fazalı QQ zamanı alınmış ifadələrə oxşardır.
2. Bir və ya iki fazanın qırılması müqavimətlərin qoşulmasından yaranan qeyri – simmetrikliyin xüsusi hallarıdır; onlar üçün hesabat formulalarını Z = ∞ qəbul edərək (5.57) ÷ (5.61) –dən almaq olar.

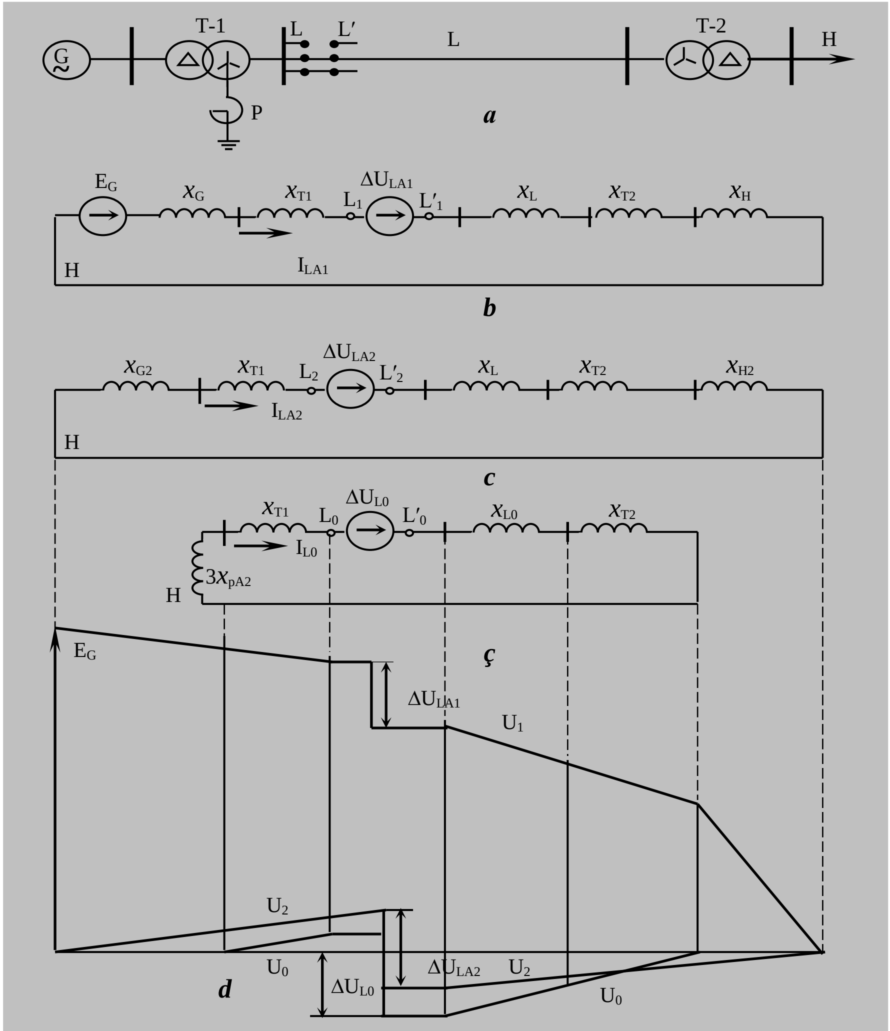
5.5.4. Birqat uzununa qeyri – simmetrikliyin hesabatının alqoritmi

Müxtəlif növ uzununa qeyri – simmetrikliklərə baxılan zaman simmetrik mürəkkəbələr üçün alınmış ifadələrin xarakteri bütün növ uzununa qeyri – simmetrikliklər üçün ümumi hesabat qaydasını ifadə etməyə imkan verir.

1. Düz, əks və sıfır ardıcıllıqlıların əvəz sxemini tırtib edərək qırılma yerinə $\Delta\mathbf{U}_{LA1}$, $\Delta\mathbf{U}_{LA2}$, $\Delta\mathbf{U}_{L0}$ (şəkil 5.25 –ə bax) EHQ qoşulur.
2. Qırılma nöqtəsinə nisbətən düz, əks və sıfır ardıcıllıqlıların ümumi müqavimətləri təyin edilir.
3. Düz ardıcıllıq sxeminin ekvivalent EHQ E_{Σ} tapılır.
4. Düz ardıcıllıq cərəyanı bütün növ qeyri – simmetrikliklər üçün ümumi olan ifadədən hesablanır:

$$\mathbf{I}_{LA1} = \frac{\mathbf{E}_{A\Sigma}}{jx_{L1\Sigma} + Z_{\Delta}^{(n)}}.$$

5. $\mathbf{I}_{LA1}$ – cərəyanının məlum qiymәti üzrə cərəyanın simmetrik mürəkkəbələri və qeyri – simmetriklik yerində gərginlik düşgüləri təyin edilir.



Şəkil 5.27. Bir fazanın qırılması zamanı gərginliyin simmetrik təşkiledicilərinin paylanması:
a – prinsipial sxemi; *b, c, ç* – düz, əks və sıfır ardıcıllıqların əvəz sxemləri;
d – gərginliklərin epürü

6. Hər bir ardıcıllığın sxemi üçün ayrılıqda, qırılmanın bir tərəfinin gərginliyi hesablanır. Bunun üçün sxemin başlanğıcının potensialı (şəkil 2.27 –də *H* nöqtəsi) sıfıra bərabər qəbul edilir və məlum cərəyanlar üzrə L_1, L_2, L_0 nöqtələrin potensialları təyin olunur.
7. Qeyri – simmetriklik yerində cərəyanın və gərginlik düşgüsünün simmetrik merəkkəbələrini, həmçinin qeyri – simmetrikliyin kənar hissələri üzrə gərginliyi bilərək onların tam qiymətləri hesablanır.

5.5.5. Bir fazanın qırılması zamanı gərginliyin paylanması

Natamam faza rejiminin parametrlərinin hesabatının vacib mərhələsi periferiya nöqtələrində bu rejimin parametrlərini təyin etməkdir. Belə hesabat qeyri – simmetriklik yerindən elektriki uzaq qovşaqlarda qeyri – simmetrikliyin səviyyəsini qiymətləndirməyə, həmçinin sistemin xətləri üzrə güc ötürülməsinin mümkün olan həddini hesablamağa imkan verir.

Şəkil 3.2 –də göstərilən elektrik sistemi sxeminin bir hissəsinə baxaq. Fərz edək ki, A3, A4 və A6 açarlrı açıqdı, sistemin bir hissəsi isə T – 2 transformatorunun 35 kV –luq şininə birləşdirilib və o ümumiləşdirilmiş yüklə verilib. Bu cür alınmış sxem şəkil 5.27, *a* –da göstərilib. Xəttin başlanğıcında A fazasının qırılması üçün düz, əks və sıfır ardıcıllıqların əvəz sxemləri şəkil 5.27 *b* – *ç* –də göstərilib.

Müxtəlif ardıcıllıqların gərginliyin epürünü qurmaq üçün hər bir ardıcıllığın sxeminə ayrılıqda baxmaq lazımdır.

Düz ardıcıllıq sxemi üçün

$$\mathbf{U}_{L1A} = \mathbf{E}_G - j\mathbf{I}_{LA1}\left(x_G + x_{T1}\right),$$

burada $\mathbf{I}_{LA1} = \dfrac{\mathbf{E}_G}{j\left(x_{L1\Sigma} + x_{L\Delta}^{(1)}\right)}$ – düz ardıcıllıq cərəyanıdır.

$L_1^/$ qırılma nöqtəsində gərginlik $\mathbf{U}_{L1A}^/ = \mathbf{U}_{L1A} - \Delta\mathbf{U}_{LA1}$ –ə bərabərdir. Sxemin hər hansı bir elementində gərginlik düşgüsünü hesablayaraq gərginlik əyrisini qururuq (şəkil 5.27, *d* –də U_1 əyrisi).

Əks – ardıcıllıq sxemində qırılma yerinin sol tərəfində gərginlik aşağıdakı formula ilə hesablayaq:

$$\mathbf{U}_{L2A} = 0 - j\mathbf{I}_{LA2}\left(x_{G2} + x_{T1}\right) = j\mathbf{I}_{LA1}\frac{x_{L0\Sigma}\left(x_{G2} + x_{T1}\right)}{x_{L2\Sigma} + x_{L0\Sigma}}.$$

Qırılma yerinin digər tərəfində alarıq:

$$\mathbf{U}_{L2A}^/ = \mathbf{U}_{L2A} - \Delta\mathbf{U}_{LA2}.$$

Sıfır ardıcıllıq sxemində qırılma yerinin kənarları üzrə gərginlik yuxarıda göstərilənə oxşar təyin olunur:

$$\mathbf{U}_{L0} = 0 - j\mathbf{I}_{L0}\left(3x_P + x_{T1}\right) = j\mathbf{I}_{LA1}\frac{x_{L2\Sigma}\left(3x_P + x_{T1}\right)}{x_{L2\Sigma} + x_{L0\Sigma}},$$

$$\mathbf{U}_{L0}^/ = \mathbf{U}_{L0} - \Delta\mathbf{U}_{L0}.$$

Əks və sıfır ardıcıllıqların gərginliklərin epüri şəkil 5.27, *d* –də (U_2 və U_1 əyriləri) göstərilib. Sxemin aralıq nöqtələrində bütün ardıcıllıqların gərginliklərini bilərək vektor diaqramını qurmaq olar. Bu zaman transformatorların birləşməsinin 5.4.7 bəndində yerinə yetirildiyi qaydada olmasını nəzərə almaq lazımdır. Qırılma yerində gərginliklərin vektor diaqramı şəkil 5.23 –də təqdim olunub.

5.6. QEYRİ – SİMMETRİKLİYİN MÜRƏKKƏB NÖVLƏRİ

Zədələnmələrin mürəkkəb növləri eyni zamanda bir neçə yerdə QQ –nin olması, fazaların qırılması və ya bu və digərinin eyni zamanda baş verməsi zamanı yaranır. Daha çox sistemin iki nöqtəsində eyni zamanda QQ –nin və ya hər hansı bir nöqtədə fazanın qırılması ilə eyni zamanda QQ – nin yaranması baş verir. Daha mürəkkəb zədələnmələrin ehtimalı kiçikdir.

5.6.1. İkiqat yerlə qapanma

Fərz edək ki, ikiqat QQ neytralı yerdən izalə olunmuş şəbəkədə baş verir. Zədələnmə yerində sərhəd şərtləri aşağıdakı kimidir (şəkil 5.28):

$$\mathbf{I}_{MA}=0,\quad \mathbf{I}_{MC}=0,\quad \mathbf{U}_{MB}=0,$$

$$\mathbf{I}_{NA}=0,\quad \mathbf{I}_{NB}=0,\quad \mathbf{U}_{NC}=0,$$

$$\mathbf{I}_{MB}=-\mathbf{I}_{NC}. \qquad (5.62)$$

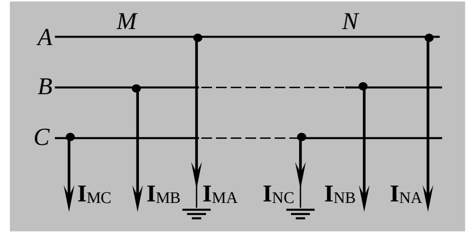
Zədələnmiş A fazasını əsas qəbul edərək, sərhəd şərtlərindən irəli qələn nisbətləri yazaq:

$$\mathbf{I}_{MB1}=\mathbf{I}_{MB2}=\mathbf{I}_{M0}, \qquad (5.63)$$

$$\mathbf{I}_{NC1}=\mathbf{I}_{NC2}=\mathbf{I}_{N0}, \qquad (5.64)$$

$$\mathbf{I}_{MA2}=\mathbf{a}\mathbf{I}_{MA1},\quad \mathbf{I}_{M0}=\mathbf{a}^2\mathbf{I}_{MA1}, \qquad (5.65)$$

$$\mathbf{I}_{NA2}=\mathbf{a}^2\mathbf{I}_{NA1},\quad \mathbf{I}_{N0}=\mathbf{a}\mathbf{I}_{NA1}, \qquad (5.66)$$



Şəkil 5.28. İkiqat yerlə qapanma

$$\mathbf{U}_{MB1}+\mathbf{U}_{MB2}+\mathbf{U}_{M0}=\mathbf{a}^2\mathbf{U}_{MA1}+\mathbf{a}\mathbf{U}_{MA2}+\mathbf{U}_{M0}=0,$$

$$\mathbf{U}_{NC1}+\mathbf{U}_{NC2}+\mathbf{U}_{N0}=\mathbf{a}\mathbf{U}_{NA1}+\mathbf{a}^2\mathbf{U}_{NA2}+\mathbf{U}_{N0}=0.$$

(5.63) ÷ (5.66) nəzərə alınmaqla (5.62) şərtindən alarıq $\mathbf{I}_{NA1}=-\mathbf{a}\mathbf{I}_{MA1}$. Bu bərabərlik göstərir ki, hər iki yerlə qapanma yerində cərəyanların simmetrik mürəkkəbələri bir – biri ilə əlaqəlidir.

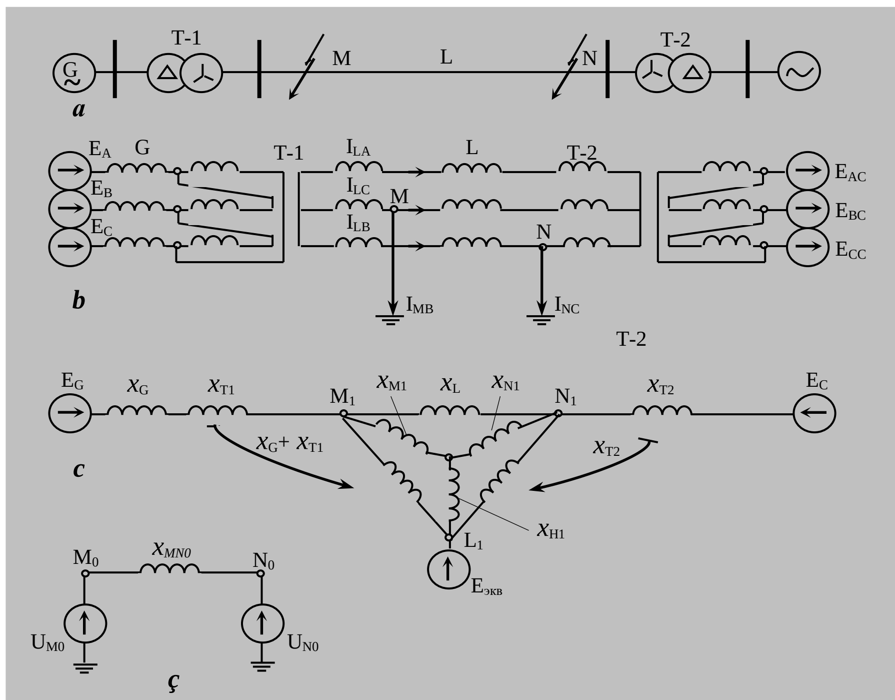
Sıfır ardıcıllıqlı sxem üçün aşağıdakı ifadəni alırıq

$$\mathbf{U}_{N0}-\mathbf{U}_{M0}=j\mathbf{I}_{M0}x_{MN0}.$$

İkiqat yerlə qapanma yerində cərəyan və gərginliklərin hesabatı qaydası və vektor diaqramına şəkil 5.29 –da göstərilən sxemin nümunəsində baxılır. Bu şəkildə həmçinin düz və sıfır ardıcıllıqların əvəz sxemləri verilmişdir.

Bütün EHQ –ləri qısa qapanma zamanı əks – ardıcıllıqlı sxemi düz ardıcıllıqlı sxemi təkrarlayır $\mathbf{E}_G = \mathbf{E}_C = \mathbf{E}_{ekv} = \mathbf{E}$ qəbul edərək (5.73) ifadəsi üzrə düz ardıcıllığın cərəyanını tapırıq. (5.73) ifadəsi qeyri – simmetriklik rejimi ifadəsinin ümumi həllinə baxılan zaman alınıb:

$$\mathbf{I}_{MA1} = \frac{\left(1 - \mathbf{a}^2\right)\mathbf{E}}{j\left(3x_{H1} + x_{M1} + x_{N1} + x_D\right)},$$



Şəkil 5.29. İkiqat yerlə qapanma: *a* – prinsipial sxemi; *b* – düz ardıcıllığın üçxətli sxemi; *c*, *ç* – düz və sıfır ardıcıllıqların birxətli sxemləri

burada

$$x_D = 3x_{H2} + x_{M2} + x_{N2} + x_{MN0}; \qquad (5.67)$$

x_{H2}, x_{M1}, x_{N1}, - $M_1N_1L_1$ üçbucağın ulduza çevrilməsi (şəkil 5.29, *ç*) ilə alınan düz ardıcıllığın müqavimətləridir;
x_{H2}, x_{M2}, x_{N2}, –həmçinin əks – ardıcıllığın müqavimətləridir;
x_{MNO} – QQ nöqtələri arasında sıfır ardıcıllıqlıların müqavimətidir.
Əks və sıfır ardıcıllıqlıların cərəyanı aşağıdakı formula ilə hesablanır:

$$\mathbf{I}_{MA2} = \mathbf{a}\,\mathbf{I}_{MA1}, \qquad \mathbf{I}_{M0} = \mathbf{a}^2\mathbf{I}_{MA1}.$$

Yerlə qapanma yerlərində zədələnmiş fazalardakı cərəyanlar vektor diaqramı üzrə təyin olunur:

$$\mathbf{I}_{MB} = 3\mathbf{a}^2\mathbf{I}_{MA1} = -\mathbf{I}_{NC}.$$

M və *N* nöqtələrində müxtəlif ardıcıllıqların gərginlikləri aşağıdakı kimi hesablanır:

$$\mathbf{U}_{MA1} = \mathbf{E}_{e\kappa v} - j\mathbf{I}_{M0}\left[\left(\mathbf{a}-\mathbf{a}^2\right)x_{H1} + \mathbf{a}x_{M1}\right] = U_{MA1}e^{j\phi_1},$$

$$\mathbf{U}_{MA2} = -j\mathbf{I}_{M0}\left[\left(\mathbf{a}^2-\mathbf{a}\right)x_{H2} + \mathbf{a}^2x_{M2}\right] = U_{MA2}e^{j\phi_2},$$

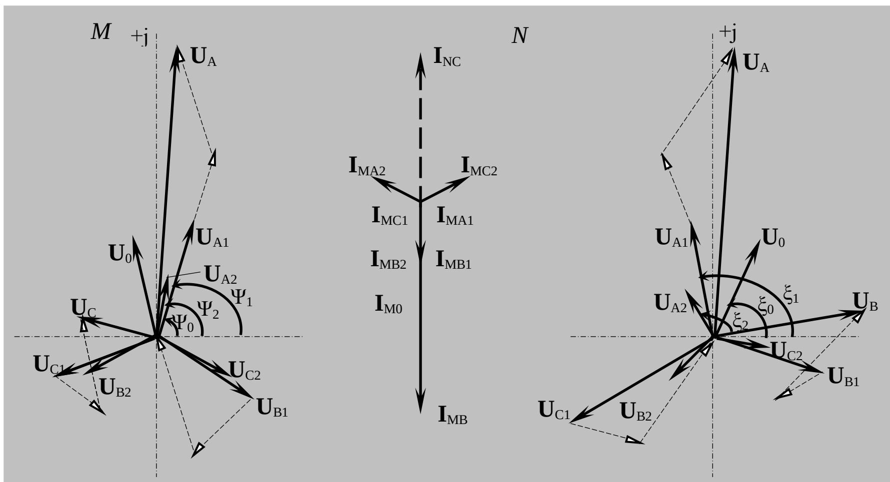
$$\mathbf{U}_{M0} = -\left(\mathbf{a}^2\mathbf{U}_{MA1} + \mathbf{a}\mathbf{U}_{MA2}\right) = U_{M0}e^{j\phi_0},$$

$$\mathbf{U}_{NA1} = \mathbf{E}_{ekv} - j\mathbf{I}_{M0}\left[\left(\mathbf{a}-\mathbf{a}^2\right)x_{H1} - \mathbf{a}^2x_{N1}\right] = U_{NA1}e^{j\xi_1},$$

$$\mathbf{U}_{NA2} = -j\mathbf{I}_{M0}\left[\left(\mathbf{a}^2-\mathbf{a}\right)x_{H2} - \mathbf{a}^2x_{N2}\right] = U_{NA2}e^{j\xi_2},$$

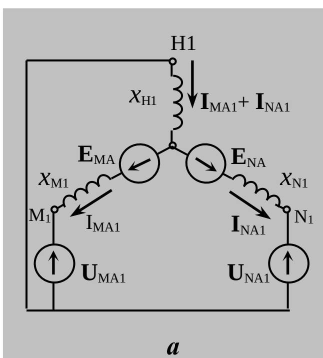
$$\mathbf{U}_{N0} = -\left(\mathbf{a}\mathbf{U}_{NA1} + \mathbf{a}^2\mathbf{U}_{NA2}\right) = U_{N0}e^{j\xi_0}.$$

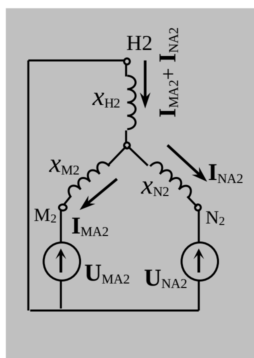
QQ yerlərində cərəyan və gərginliklərin vector diaqramları şəkil 5.30 –da göstərilib. Diaqramın qurulmasının düzgünlüyünün kriteriyası, məsələn, ($\mathbf{U}_{N0}$ – $\mathbf{U}_{M0}$) vektorunun $\mathbf{I}_{M0}$ vektoruna perpendikulyar olmasıdır.

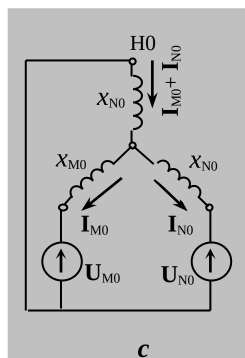


Şəkil 5.30. Ikiqat yerlə qapanma zamanı vektor diaqramı

Ümumi halda mürəkkəb qeyri – simmetrikliyin hesablanması üçün düz, əks və sıfır ardıcıllıqlıların əvəz sxemlərini şəkil 5.31 –də göstərilən şəkilə gətirirlər. Sıfır ardıcıllığın sxemi hesablanan şəbəkənin neytralı yerlə bilavasitə birləşdirildikdə yaxud kompensasiya olunduqda düz və əks ardıcıllıqlıların konfiqurasiyasını alır.







Şəkil 5.31. İkiqat yerlə qapanma zamanı düz (*a*), əks (*b*), sıfır (*c*) ardıcıllıqların əvəz sxemləri

Düz ardıcıllıq sxeminə daxil olan E_{MA} – E_{NA} EHQ –ləri [2, əlavə 1, səh. 495] –də verilmiş çevirmə ilə təyin olunur. L1 nöqtəsində bir ekvivalent EHQ $\mathbf{E}_{ekv}$ qoşulduğu halda (şəkil 5.29, *c* –yə bax) $\mathbf{E}_{MA} = \mathbf{E}_{NA} = \mathbf{E}_{ekv}$ olur.

İkiqat QQ zamanı ümumi həll alına bilər, əgər QQ nöqtəsində 12 naməlumu təyin etmək (hər iki nöqtədə hər bir ardıcıllığın üç gərginliyini və üç cərəyanını) mümkün olsun. Bunun üçün qeyd olunan dəyişənləri əlaqələndirən 12 tənliyi tərtib etmək lazımdır. Bu tənliklərin həlli axtarılan dəyişənləri təyin etməyə imkan verəcəkdir. Birinci altı tənlik sərhəd şərtləridir [5, (117) tənliyi]. Bunlara müxtəlif ardıcıllıqların sxemlərindən alınan tənlikləri əlavə etmək lazımdır (şəkil 531 –ə bax):

$$\mathbf{U}_{MA1} = \mathbf{E}_{MA} - j\mathbf{I}_{MA1}\left(x_{M1} + x_{H1}\right) - j\mathbf{I}_{NA1}x_{H1},$$

$$\mathbf{U}_{NA1} = \mathbf{E}_{NA} - j\mathbf{I}_{MA1}x_{H1} - j\mathbf{I}_{NA1}\left(x_{N1} + x_{H1}\right),$$

$$\mathbf{U}_{MA2} = -j\mathbf{I}_{MA2}\left(x_{M2} + x_{H2}\right) - j\mathbf{I}_{NA2}x_{H2}, \qquad (5.68)$$

$$\mathbf{U}_{NA2} = -j\mathbf{I}_{MA2}x_{H2} - j\mathbf{I}_{NA2}\left(x_{N2} + x_{H2}\right), \qquad (5.69)$$

$$\mathbf{U}_{M0} = -j\mathbf{I}_{M0}\left(x_{M0} + x_{H0}\right) - j\mathbf{I}_{N0}x_{H0}, \qquad (5.70)$$

$$\mathbf{U}_{N0} = -j\mathbf{I}_{M0}x_{H0} - j\mathbf{I}_{N0}\left(x_{N0} + x_{H0}\right). \qquad (5.71)$$

Bütün naməlumları $\mathbf{I}_{MA1}$ vasitəsi ilə əvəz edərək, onun üçün aşağıdakı ifadəni alırıq:

$$\mathbf{I}_{MA1} = \frac{\mathbf{E}_{MA} - a^2\mathbf{E}_{NA}}{j\left(3x_{H1} + x_{M1} + x_{N1} + x_D\right)},$$

burada x_D (5.67) formulası üzrə hesablanır.

Cərəyanın tapılmış qiyməti ikiqat QQ yerinin yerdə qalan 11 naməlumunu təyin etməyə imkan verəcəkdir.

5.6.2. Fazanın qırılması ilə birfazalı QQ

Fərz edək ki, neytrallı yerlə birbaşa birləşdirilmiş şəbəkədə bir fazanın naqili qırılıb, onun bir ucu yerlə birləşib, digər ucu isə izolyasiya olunmuş vəziyyətdə qalmışdır. Zədələnmə yerində sərhəd şərtləri (şəkil 5.32):

$$\mathbf{I}_{KB} = 0, \quad \mathbf{I}_{KC} = 0, \quad \mathbf{U}_{KA} = 0,$$
$$\mathbf{I}_{LA} = 0, \quad \Delta\mathbf{U}_{LB} = 0, \quad \Delta\mathbf{U}_{LC} = 0.$$

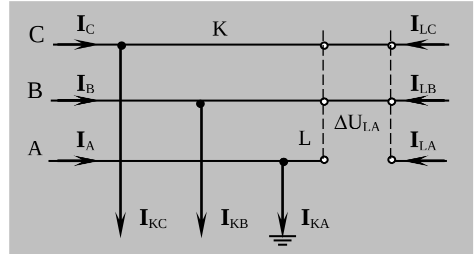
Sərhəd şərtlərindən görünür ki,

$$\mathbf{I}_{KA1} = \mathbf{I}_{KA2} = \mathbf{I}_{K0},$$

$$\mathbf{U}_{KA1} + \mathbf{U}_{KA2} + \mathbf{U}_{K0} = 0,$$

$$\mathbf{I}_{LA1} + \mathbf{I}_{LA2} + \mathbf{I}_{L0} = 0,$$

$$\Delta\mathbf{U}_{LA1} = \Delta\mathbf{U}_{LA2} = \Delta\mathbf{U}_{L0}.$$



*Şəkil 5.32.*Bir fazanın qırılması ilə bir fazalı QQ

Bu tənliklərə (5.7), (5.8), (5.34) və (5.35) ifadələrini əlavə edək. Alınmış tənliklər sistemini $\mathbf{U}_{KA1}$ və $\Delta\mathbf{U}_{LA1}$ –ə nisbətən həll edərək, aşağıdakı ifadələri yaza bilərik:

$$\mathbf{U}_{KA1} = j\mathbf{I}_{KA1}x_K + j\mathbf{I}_{LA1}x_{KL},$$
$$\Delta\mathbf{U}_{LA1} = j\mathbf{I}_{KA1}x_{KL} + j\mathbf{I}_{LA1}x_L. \qquad (5.72)$$

burada

$$x_K = x_{K2} + x_{K0} - \frac{(x_{KL2} - x_{KL0})^2}{x_{L2} + x_{L0}};$$

$$x_L = \frac{x_{L2}x_{L0}}{x_{L2} + x_{L0}}; \quad x_{KL} = -\frac{x_{KL2}x_{L0} + x_{KL0}x_{L2}}{x_{L2} + x_{L0}};$$

x_{K2} və x_{K0} – L nöqtəsində sxemin tam qırılması halında QQ nöqtəsinə nisbətən əks və sıfır ardıcıllıqlar sxemlərinin reaktivliyidir;
x_{L2} və x_{L0} – həmçinin, QQ olmayan hallarda qırılma yerinə nisbətən

reaktivliklərdir;

x_{KL2} və x_{KL0} – müvafiq ardıcıllıqların sxemlərində qırılma yeri və QQ nöqtəsi arasında qarşılıqlı reaktivliklərdir.

(5.72) ifadələrinin hər ikisinin sağ tərəfinə iki eyni, lakin işarəcə əks olan toplananlar əlavə edərək, çevirmə aparıb aşağıdakı ifadələri alarıq:

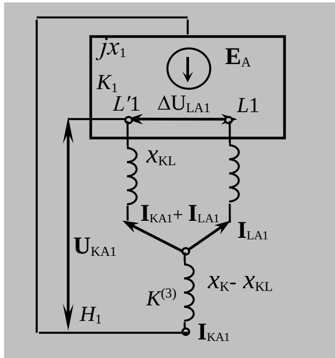
$$\mathbf{U}_{KA1} = j\mathbf{I}_{KA1}x_K + j\mathbf{I}_{LA1}x_{KL} + j\mathbf{I}_{KA1}x_{KL} - j\mathbf{I}_{KA1}x_{KL} =$$
$$= j\mathbf{I}_{KA1}\left(x_K - x_{KL}\right) + j\left(\mathbf{I}_{KA1} + \mathbf{I}_{LA1}\right)x_{KL},$$
$$\mathbf{U}_{LA1} = j\mathbf{I}_{KA1}x_{KL} + j\mathbf{I}_{LA1}x_L + j\mathbf{I}_{LA1}x_{KL} - j\mathbf{I}_{LA1}x_{KL} =$$
$$= j\left(\mathbf{I}_{KA1} + \mathbf{I}_{LA1}\right)x_{KL} + j\mathbf{I}_{LA1}\left(x_L - x_{KL}\right).$$

Axırıncı tənliklərə şəkil 5.33 –də göstərilən əvəz sxemi uyğundur. Sxemdən görsənir ki, $K^{(3)}$ nöqtəsində düz ardıcıllıq cərəyanı K1 və L1 nöqtələri və x_{KL}, $x_K - x_{KL}$, $x_L - x_{KL}$ müqavimətləri ilə əlaqəli olaraq QQ – nın ekvivalent cərəyanı kimi tapılır. Qeyri – simmetrikliyin hər iki yerində cərəyan və gərginliklərin yerdə qalan simmetrik mürəkkəbəjəri sərhəd şərtlərindən və (5.68) ÷ (5.71) əlaqə tənliklərindən irəli gələn nisbətlər üzrə $x_L - x_{KL}$ hesablanır. Əgər göstərilən bütün mənbələrin EHQ –ləri bir – birinə bərabər olarsa, həmçinin düz və əks ardıcıllıqların parametrləri bərabər olarsa, onda QQ yerində həmin fazanın qırılması zamanı düz ardıcıllığın cərəyanı aşağıdakı formula ilə təyin olunacaq:

$$\mathbf{I}_{KA1} = \frac{\mathbf{E}_{A1}}{j\left(x^{(1)} + ax_{(L)}\right)}, \qquad (5.73)$$

burada $x^{(1)} = 2x_{1\Sigma} + x_{0\Sigma}$ – K nöqtəsində fazanın qırılmasə ilə müşahidə olunmayan birfazalı QQ halı üçün yekun reaktivlikdir; $x_{L1} = x_{L2}$ və $x_{KL1} = x_{KL2}$ olduqda

$$a = \left(\frac{x_{KL0}}{x_{L0}} + 2\frac{x_{KL1}}{x_{L1}}\right)^2; \quad x_{(L)} = \frac{x_{L1}x_{L0}}{x_{L1} + 2x_{L0}}$$



Şəkil 5.33. Fazanın qırılması ilə bir fazalı QQ üçün düz ardıcıllıq üçün hesabt sxemi

(5.73) ifadəsindən görsənir ki, QQ –nın və fazanın qırılmasının eyni vaxtda olması, fazanın qırılmayan hali ilə müqayisədə, QQ cərəyanının azalmasına səbəb olur.

YOXLAMA SUALLARI

1. Elektrik sistemlərində qeyri – simmetrik rejimlərin hesabatına simmetrik mürəkkəbələr metodunun tətbiqində onun üstünlükləri və çatışmayan cəhətləri nədən ibarətdir?
2. Qeyri – simmetrik rejimlərin hesabatında elektrik sisteminin müxtəlif elementlərinin təqdim olmasının xüsusiyyətləri hansılardır?
3. Müxtəlif ardıcıllıqların əvəz sxeminin başlanğıcı və sonu nə deməkdir?
4. Qeyri – simmetrik QQ cərəyanının hesabatı alqoritmini göstərin.
5. Kompleks əvəz sxeminin tərtibi prinsipləri nədən ibarətdir?
6. Birqat uzununa qeyri – simmetrikliyin hesabatı alqoritmini göstərin.
7. Qısaqapanma yerində müxtəlif QQ –ların cərəyanları arasında nisbətlər necədir?
8. Qeyri – simmetrikliyin mürəkkəb növləri termini dedikdə nə başa düşülür və onların hesabatına yanaşma necədir?

F ə s i l 6

UZAQ MƏSAFƏLƏRƏ ELEKTRİK VERİLİŞİNDƏ ELEKTROMAQNİT KEÇİD PROSESLƏRİ VƏ MÜHAFİZƏNİN İŞLƏMƏSİNƏ ONLARIN TƏSİRİ

Çox uzaq məsafələrə elektrik verilişinin normal və keçid rejimləri elektromaqnit enerjisinin paylanmasının dalğa xarakterli olması və xəttin xüsusi parametrlərinin nisbətləri ilə xarakterizə olunur. Elektromaqnit periodik sərbəst mürəkkəbələr yaranır. Keçid rejiminin cərəyan və gərginliklərini aşağıdakı şəkildə təqdim etmək olar:

$$U(t), i(t) = f(t) = f_{mec}(t) + \sum_{i=1}^{m} f_{am}(t) + \sum_{j=1}^{\infty} f_{n\,j}(t), \qquad (6.1)$$

burada $f_{məc}(t)$ – məcburi mürəkkəbələrdir;

$\sum_{i=1}^{m} f_{am}(t), \sum_{j=1}^{\infty} f_{pj}(t)$ - müvafiq olaraq aperiodik və periodik sərbəst mürəkkəbələrdir.

Gərginliyi 500 kV və ondan yüksək olan şəbəkələrin etibarlı işləməsini təmin etmək üçün xəttin əsas mühafizəsinin işəsalma orqanlarının təsir müddəti 0.04 saniyədən çox olmamalıdır. Uzunluğu 1000 km və yuxarı olan xətlərdə elektromaqnit keçid prosesinin sönmə müddəti saniyənin onda birləri qədərdir, ona görə də mühafizənin keçid prosesi şəraitində işləməsi lazım gəlir.

Müasir mühafizələrin çox hissəsi sənaye tezliyi parametrlərinin dəyişməsinə reaksiya verirlər. Periodik sərbəst mürəkkəbələrin təsirini azaltmaq üçün xüsusi tezlik süzgəclərindən istifadə olunur. Lakin, onlar problemləri tamamilə həll etmir, ona görə ki, QQ zamanı uzun xəttin müəyyən hissəsində cərəyan və gərginliyin tərkibində sənaye tezliyinə yaxın olan tezlikdə periodik sərbəst mürəkkəbələr yaranır. Bu, süzgəcin buraxma zolağının daraldılmasını tələb edir ki, o da öz növbəsində işəsalma orqanlarının təsir müddətini artırır. Ona görə də, süzgəclərin tətbiqi imkanlarından imtina məsələsi meydana çıxır. Onun həlli üçün periodik sərbəst mürəkkəbələrin dəyişmə qanunauyğunluğunu müəyyən etmək və onu istifadə edə bilən mühafizənin yeni üsulunu işləmək zəruriyyəti yaranır. Sonradan cərəyan və gərginliklərin ani qiymətlərinin əyriləri tezliklərə ayrılırlar və (6.1) formasına gətirirlər.

6.1. PERİODİK SƏRBƏST MÜRƏKKƏBƏLƏRİN PARAMETRLƏRİNİN HESABLAMA METODU

Paylanmış parametrləri xətdə elektromaqnit prosesləri diferensial tənliklər sisteminin xüsusi törəmələri ilə təsvir edilir:

$$-\frac{\partial U}{\partial x} = r_0 i + L_0 \frac{\partial i}{\partial t}, \qquad \frac{\partial i}{\partial x} = g_0 U + C_0 \frac{\partial U}{\partial t}, \tag{6.2}$$

burada r_0, g_0, L_0, C_0 – xəttin xüsusi parametrləridir.

Elektromaqnit keçid proseslərinin hesablama metodlarını iki qrupa bölmək olar: tezlik və dalağa metodları. Birinci halada Furye formasında (6.2) sisteminin həlli əsasında yerinə yetirilir, ikinci halda isə sistemi həll etmək üçün Dalamber formasından istifadə olunur.

Dalğa metodu ilə keçid proseslərinin hesabatının parametrləri və alqoritmi [26] –da, tezlik metodu ilə – [27] verilib. D a l ğ a m e t o d u hesabat ifadələrinin sadəliyi və elektrik sisteminin elementlərinin qeyri – xəttilik xarakteristikalarının nəzərə alınma imkanlarına görə fərqlənərək hesabatın nəticəsini keçid rejiminin

parametlərini ani qiymətlər şəkilində verir. Bu, keçid proseslərinin mühafizənin işləməsinə təsirini qiymətləndirmək üçün əlavə çevirmələr aparmadan onların istifadə olunmasını mümkünsüz edir. T e z l i k m e t o d u hesbatların nəticəsini məcburi və sərbəst mürəkkəbələrin cəmi şəkilində verdiyindən qeyri – xətti sxemlərdə hesabatı aparmağa imkan vermir, ona görə ki, bu metodlar cəmləmə prinsipinə əsaslanır. Uzaq məsafələrə elektrik verilişinin xüsusiyyətləri (boşaldıcıların olması, keçid prosesini parametrlərinə tac boşalmasının əhəmiyyətli dərəcədə təsiri) boşaldıcıların və tacın qeyri – xəttilik xarakterindən tezlik metodlarının burada istifadəsini istisna edir.

Sərbəst mürəkkəbələrin parametrlərinin hesabatı məsələsi gizli periodikliyin ayrılma metodu ilə həll olunur və aşağıdakı kimi ifadə olunur. (–*L*, *L*) sonluq intervalında X(t) funksiyası verilib. Bu, fasiləsiz yazma ilə (qrafiklə və ya cədvəllə) qiymətlər yığımı şəkilində diskret zaman anında təqdim oluna bilər.

X(t) funksiyası ilə təsvir olunan istınilən prosesi iki mürəkkəbənin cəmi şəkilində yazmaq olar:

$$X(t) = \theta(t) + \sum_{i=1}^{v} Y_i(t),$$

burada θ(t) – periodik olmayan prosesdir (xətadır); $\sum Y_i(t)$ – x(t) prosesində gizlənmiş periodik komponentlərin cəmidir və aşağıdakı formula ilə təyin olunur.

$$\sum_{i=1}^{v} Y_i(t) = \sum_{i=1}^{v} A_i \sin(\Omega_i t + \Phi_i)$$

(burada A_i müstəqil amplitud, Φ_i – *i* –inci harmonikanın fazası, Ω – tezklikdir).

Çox hallarda X(t) prosesini poliharmonik qəbul edirlər.

$$X(t) = Y(t) = \sum_{i=1}^{v} A_1 \sin(\omega_i t + \Phi_i).$$

Gizli periodikliyin parametrlərinin hesablanması məsələsi A_i, ω_i, Φ_i parametrlərinin təyininə gətirib çıxarır və periodik komponentlərin parametrlərinin hesablanması üçün X(t) ilkin funksiyasında çevirmələrin aparılma məsələsi kimi də qoyula bilər. Gizli periodikliyin ayrılma metodlarının icmalı [28] –də verilib. Burada bütün metodlar ancaq periodik komponentlərin tezliyinin təyininə, onların tezliyinin, amplitudunun və fazasının təyininə bölünüb.

Elektromaqnit keçid proseslərinin mühafizənin işləməsinə təsirinin tətqiqi məsələsi periodik komponentlərin bütün parametrlərinin təyini məsələsini tələb

edir. Ona görə də, sərbəst mürəkkəbələrin hesablanması üçün tətqiq olunan $X(t)$ funksiyası ilə determinasiya olunmuş funksiya arasında qarşılıqlı korrelyasiyanın xüsusiyyətlərini istifadə edən metod seçilmişdir:

$$C(t) = B\sin(\omega t + \Psi),$$

burada B – sabit kəmiyyətdir; ω – tezliyin bərabərliyi şərtindən seçilən dairəvi dəyişən tezlikdir və çevirmə nəticəsində təyin edilir; Ψ – Φ_i –dən asılı olmayan tezlikdir.

$X(t)$ və $C(t)$ funksiyaları arasında qarşılıqlı – korrolyasiya funksiyası üçün ifadə aşağıdakı kimidir:

$$R_{XC}(\tau) = \int_0^T X(t)C(t+\tau)h(t)dt,$$

burada $h(t)$ – çəki funksiyasıdır, belə ki, $0 < t <$ T olduqda $h(t) = \frac{1}{T}$ və $t < 0 >$ T olduqda $h(t) = 0$ –dır.

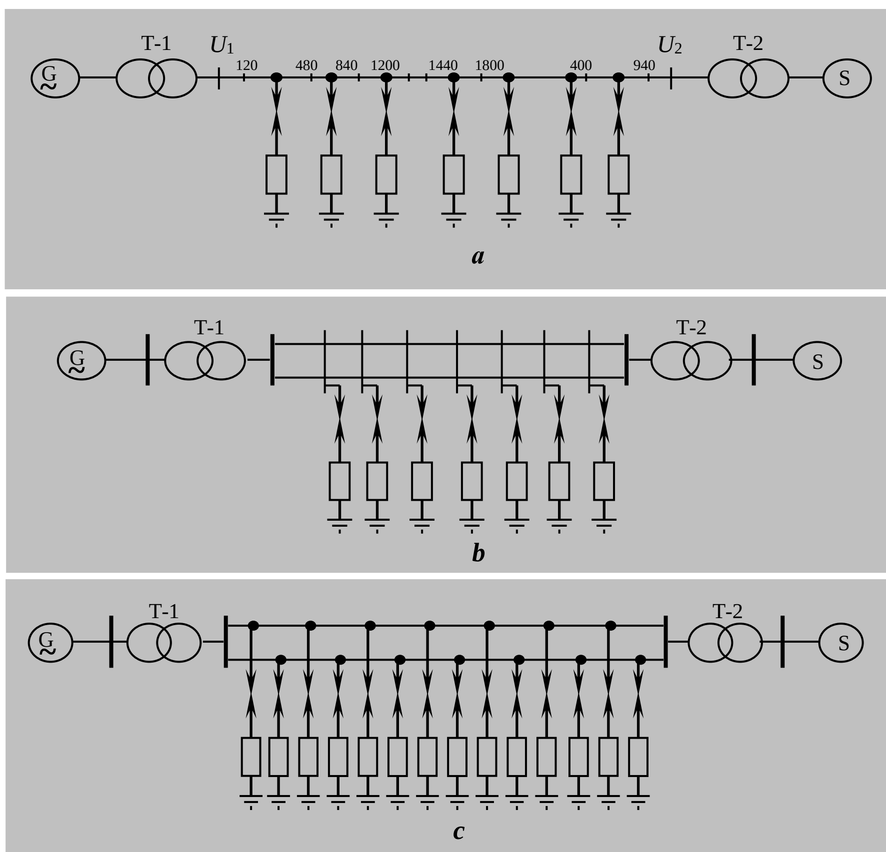
Sərbəst mürəkkəbələrin alqoritmi, proqramı və hesabatın nəticəsi [29] –da verilib.

6.2. UZAQ MƏSAFƏLƏRƏ ELEKTRİK VERİLİŞİNİN SXEMLƏRİ

Uzaq məsafələrə elektrik verilişinin sxeminin üç variantı mümkündür: blok şəkilli, rabitəli və yarımblok şəkilli (şəkil 6.1).

Ən sadə və ucuz variant b l o k ş ə k i l l i variantdır. Lakin onun tətbiqi qəbuledici sistemdə istehlakçıların qidalanmasının etibarlığının tələbləri ilə məhdudlaşır. Bu məhdudiyyət 1150 kV gərginliklə uzaq məsafəyə elektrik verilişində xüsusilə əhəmiyyət kəsb edir, çünki burada bir blokun gücü 5 – 6 mln. kVt təşkil edir ki, onun işdən çıxması qəbuledici sistemin rejiminə təsir etməyə bilməz, hətta onun gücü kifayət qədər böyük olsa da. Elektrik verilişi blokunun açılması qəbuledici sistemində kifayət qədər ehtiyat gücün olmasını tələb edir; o, istehlakçıların böyük bir hissəsinin elektrik təchizatının kəsilməsinə səbəb ola bilər. Bu həll istənilən halda iqtisadi cəhətdən effektiv deyildir.

Əgər bir fazanı açmaqla yaranan qeyri – simmetrik rejim iş rejimi kimi nəzərdə tutularsa, onda blok variantının tətbiq sahəsi xeyli genişlənmiş olar. Postsovet məkanının, elmi – tədqiqat energetika institutlarında 1960 – 70-ci illərdə

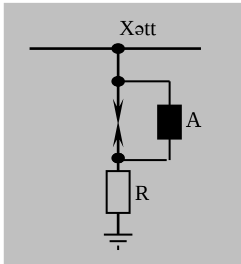


Şəkil 6.1. Uzaq məsafələrə elektrik verilişinin icra sxemləri (HX–1150, *l* =3000 km):
a – blok şəkilli; *b* – rabitəli, *c* – yarımblok şəkilli variantlar

yerinə yetirilmiş işlərdə, həmçini Azərbaycan Respublikasının enerji sisteminin istismarı prosesində elektrik verilişi xətti üçün belə rejimlərin həyata keçirilməsinin mümkünlüyü sübut olunmuşdur.Bu tədqiqat işləri elektrik xətlərinin normal rejim gücünün 2/3 –nə qədər buraxma qabiliyyəti saxlanılmaqla xüsusi sxem üzrə yerinə yetirilmişdir.

Uzaq məsafələrə elektrik verilişinin *rabitəli* variantla verilişi, uzunluğu nisbətən böyük olmayan bir sıra ardıcıl sahələrdə çevirici məntəqələri ilə xəttin seksiyalanmasını nəzərdə tutur. Tədqiqatlar göstərir ki, rabitəli sxemlər xəttin səkkiz sahəyə bölünməsi zamanı effektiv işləyə bilər (şəkil 6.2).Bu, qəzadan

sonrakı rejimdə sahələrdən birinin dövrəsi açılan zaman işçi hədd gücünün 80% –nın ötürülməsini təmin edir.



Şəkil 6.2. Reaktorun prinsipial sxemi

Xəttin rabitəli variantının istifadə olunması hər hansı bir sahənin açılması zamanı gərginliyin arzu edilməyən rejiminin yaranması, özünətəsir -lənmənin mümkünlüyü və dinamik keçidin mürəkkəbliyi ilə əlaqədar olan çətinliklərlə üzləşir.

Uzaq məsafələrə elektrik verilişinin icrasının yarımblok variantında stansiyanın generatorları iki dövrəli hava xətti vasitəsilə işləyirlər. Keçid proseslərin xüsusiyyətrləri nöqteyi – nəzərindən bu variant qəbuledici sistemin və ya ötürücü stansiyanın yaxınlığında qısaqapanmanın olması halları, QQ yerinin bir qolunun uzunluğu dalğa uzunluğuna yaxın olduqda maraq kəsb edir.

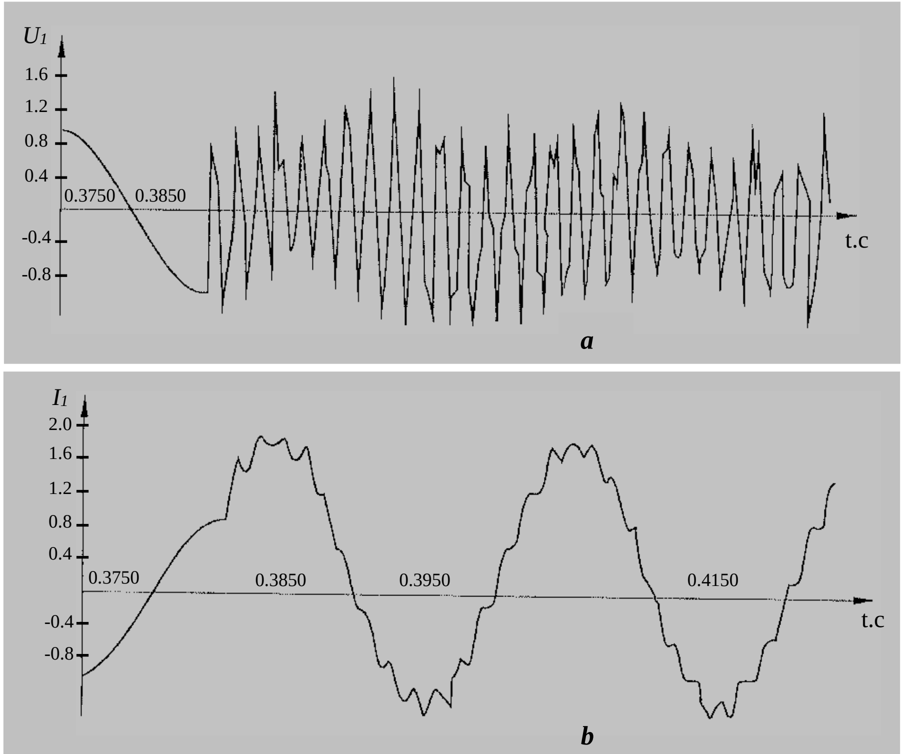
Hər üç sxemin xarakterik xüsusiyyətləri onlarda birləşdirilmiş aktiv müqavimət və qığılcım araldığından ibarət olan xüsusi boşaldıcılardan istifadə olunmasıdır (şəkil 6.2). Boşaldıcının qoşulduğu nöqtədə gərginlik kritik qiymətə çatdığı anda qığılcım aralığı deşilir və boşalma *R* aktiv müqaviməti vasitəsilə boşalır. Qığılcım aralığı deşildikdən sonra, normal iş rejimi zamanı açıq vəziyyətdə olan *A* açarı dövrəyə qoşulur. Kritik gərginlik 1.8 $U_{f\,\max}$ –a bərabər qəbul edilir. Rabitəli sxemdə boşaldıcılar hər bir çevirici məntəqədə, blok və yarımblok sxemlərində isə xəttin bir – birindən bərabər məsafələrdə olan yeddi nöqtəsində xəttə birləşdirilirlər.

6.3. UZAQ MƏSAFƏYƏ ELEKTRİK VERİLİŞİNDƏ (UMEV) QQ ZAMANI PERİODİK SƏRBƏST MÜRƏKKƏBƏLƏR

Sərbəst mürəkkəbələrin hesabatı və analızını sadələşdirməyin mümkün olduğu UMEV –nın blok variantında icrasına baxaq. Bu variant üçün keçid prosesinin bir neçə seriya hesabatı yerinə yetirilmişdir.

Qısaqapanma zamanı cərəyan və gərginliklərin hesabatı şəkil 6.1 –də göstərilən nöqtələrdə, xəttin başlanğıc və sonunda yerinə yetirilib. Həm simmetrik, həm də qeyri – simmetrik birfazalı QQ –yə baxılmışdır. QQ –nın hesabatı şərtləri [30] –da təyin edilib: sərbəst mürəkkəbələrin tezliyi üçün QQ –nın qoşulma bucağı sənaye tezliyindən yüksəkdir – π/2 –yə və sənaye tezliyindən aşağı tezliklər və aperiodik mürəkkəbələr üçün isə sıfıra bərabərdir; əvvəlki rejim – natural güc rejimi, xüsusi faza – *A*. Xəttin başlanğıcından 120 km məsafədə üçfazalı QQ zamanı xəttin əvvəlində və sonunda cərəyan və gərginliyin dəyişməsi şəkil 6.3 –də

göstərilib. Gərginli və cərəyanların əyriləri onların tərkibində ali harmonik mürəkkəbələrin olduğunu göstərir.

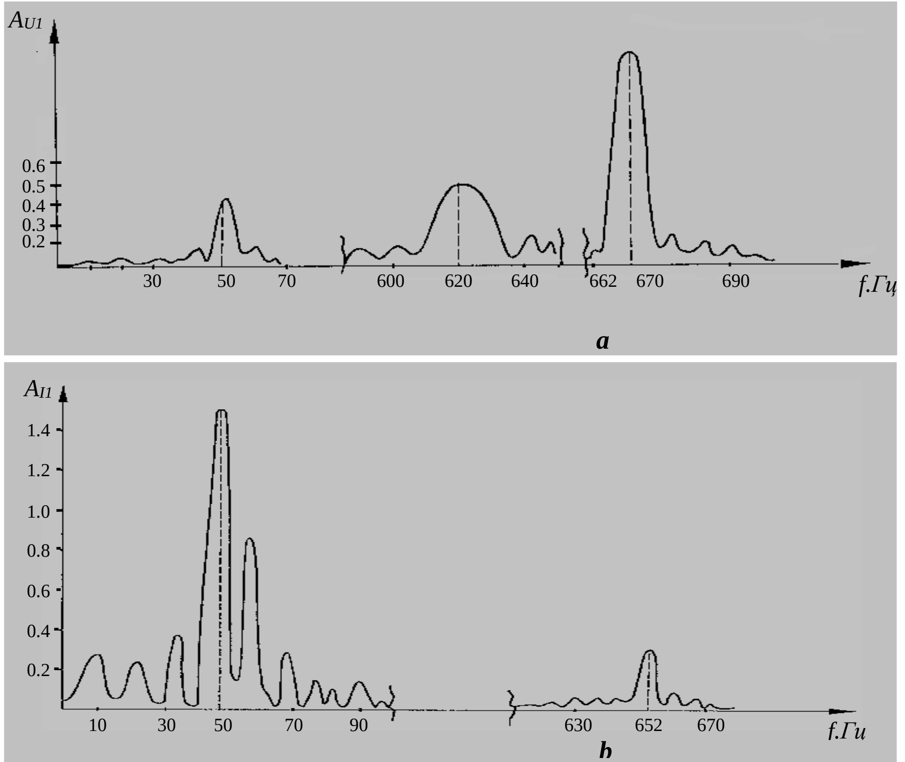


Şəkil 6.3. Xəttin başlanğıcından 120 km məsafədə üçfazalı QQ zamanı gərginliyin (*a*) və cərəyanın (*b*) əyriləri

6.1 bölməsində təsvir edilmiş metodla bu əyrilərin tezlik analizi gərginliyin sərbəst mürəkkəbələrinin parametrlərini təyin edtməyə imkan vern, amplitud – tezlik xarakteristikasını almağa imkan verir (şəkil 6.4). Şəkil 6.1 –də göstərilən nöqtələrdə keçid proseslərinin hesabatı və onların spektrləri sərbəst mürəkkəbələrin tezliyinin QQ nöqtəsinə qədər olan məsafədən asılılığını qurmağa imkan vermişdir. Üçfazalı QQ üçün bu asılılıqlar şəkil 6.5 –də verilib.

Birfazalı və ikifazalı QQ üçün $f(i) = \xi(l)$ asılılıqların xarakterləri oxşardır. Bütün növ QQ –lər üçün bu asılılıqların ümumi xüsusiyyətləri QQ nöqtəsinin xəttin uzaq hissələrinə yerdəyişməsi zamanı tezliyin monoton azalmasıdır.

Gərginliyin və tezliyin sərbəst mürəkkəbələrinin tezlikləri qiymətcə bir – birinə yaxındır və dəyişmə xarakterləri eynidir [30]. Sərbəst mürəkkəbələrin çox da az əhəmiyyətli olmayan parametrləri onların amplitududur ki, buna da QQ –nın qoşulma fazası kifayət qədər təsir edir.

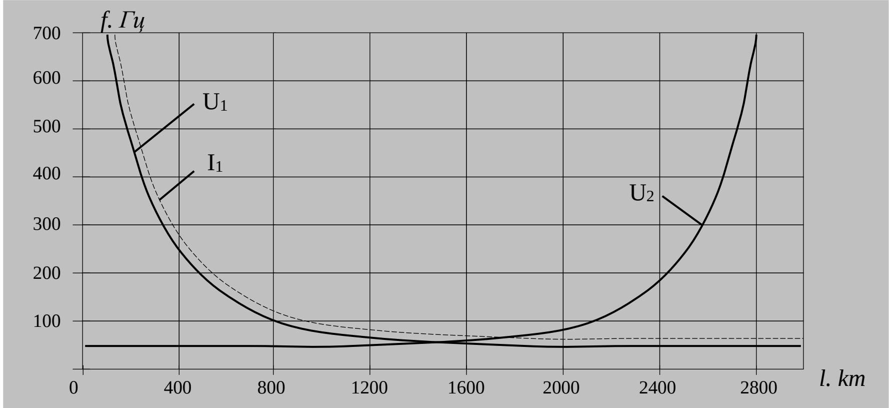


Şəkil 6.4. Gərginliyin (*a*) və cərəyanın (b) amplitud – tezlik xarakteristikaları

Şəkil 6.6 –da iki qoşma bucağı zamanı gərginliyin 1 –ci mürəkkəbələrinin amplitudunun QQ nöqtəsinə qədər olan məsafədən asılılığı verilib. İfrat yüksək gərginlikli xətlər üçün xarakterik olan səth effekti, tac, həmçinin boşaldıcının işləməsi kimi hadisələr sərbəst mürəkkəbələrin tezliyi və amplituduna əhəmiyyətli dərəcədə təsir edir. Bu amillərin təsirinin öyrənilməsi [30 – 32] aşağıdakıları göstərir:

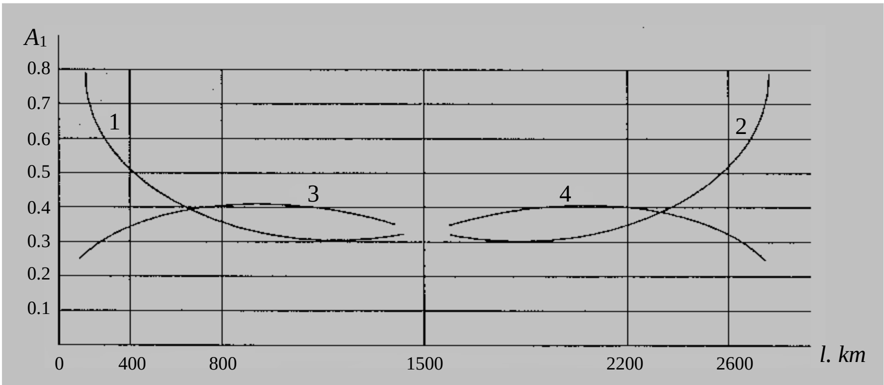
– hava xəttində QQ zamanı keçid prosesini müşayət edən tac boşalması sərbəst mürəkkəbələrin tezliyini cüzi (3 – 5%) dəyişir və amplitudunu isə 20 – 30% azaldır;

–boşaldıcının işləməsi sərbəst mürəkkəbələrin tezliyinə əhəmiyyətli dərəcədə təsir etmir. O, keçid prosesinin sönməsini xeyli sürətləndirir və sərbəst mürəkkəbələrin amplitudunu 20 – 30% azaldır;



Şəkil 6.5. Sərbəst mürəkkəbələrin tezliyinin QQ yerinə qədər olan məsafədən asılılığı

–səth effektinin sərbəst mürəkkəbələrin tezliyinə təsiri hiss olunmayan səviyyədədir.



Şəkil 6.6. Gərginliyin birinci mürəkkəbələrini amplitudunun QQ nöqtəsinə qədər məsafədən asılılığı, qoşma bucağı α = π/2 (*1,2 əyriləri*) и α = 0 (*3,4 əyriləri*) olduqda

6.4. UZAQ MƏSAFƏLƏRƏ ELEKTRİK VERİLİŞİNİN MÜHAFİZƏ METODLARI VƏ SƏRBƏST MRƏKKƏBƏLƏRDƏN ONUN KƏNARLAŞDIRILMASI

Ifrat yüksək gərginlikli elektik verilişi xətləri (500 – 1150kV) elektroenergetika sistemində keçid prosesinin formalaşmasında təyinedici rol oynayır.

Müasir elektroenergetika sistemləri mürəkkəb strukturları ilə xarakterizə olunurlar. Generasiya güclərinin və şəbəkələrin uzunluğunun artması sistemin əlaqələrinin mürəkkəbləşməsinə çoxölçülüyünə səbəb olur, ona görə də onun idarəetmə strukturunun təkmilləşdirilməsi zəruriyyətini yaradır. Hal – hazırda stasionar rejimin idarə olunması enerjisistemin fəaliyyəti çərçivəsində dispetçerlər tərəfindən həyata keçirilir, lakin həyacanlanmış və keçid rejimlərinin idarə olunması müstəqil işləyən rele mühafizəsinin avtomatik sistemləri və sistem avtomatikaları vasitəsi ilə yerinə yetirilir.

Enerjisistemin idarə olunmasının təkmilləşdirilməsinin əsas istiqaməti normal və qəza rejimlərinin kompleks idarə olunmasını yerinə yetirən avtomatlaşdırılmış idarəetmə sisteminə keçməkdir. Mikroprosesslər bazası əsasında bu işin yerinə yetirilməsi yeni idarəetmə alqoritminin işlənməsini tələb edir, ona görə ki, müasir rele mühafizəsi qurğularında həyata keçirilən alqoritmlərdən istifadə effektiv deyildir. Elektrik verilişi xəttinin istənilən uzunluğu və həyacanlanmış rejimində avtomatik idarə etməni həyata keçirməyə imkan verən alqoritm qismində xəttin mühafizə olunan sahəsinin bir tərəfinin sonunda rejimin faktiki parametrlərinin, obyektdə zədələnmənin olmadığını fərz edilərək xəttin digər tərəfinin sonundakı rejim haqqındakı informasiyanın əsasında hesablanmış parametrləri ilə fasiləsiz müqayisə olunması təklif olunur. Bu halda elektri verilişi xəttinə dördqütblü kimi baxıla bilər və həmin dördqütblüdə normal rejimdə cərəyan və gərginlik aşağıdakı mütənasibliklərlə bir biri ilə əlaqəlidirlər:

$$\mathbf{U}_1 = \mathbf{AU}_2 + \mathbf{BI}_2,$$
$$\mathbf{I}_1 = \mathbf{CU}_2 + \mathbf{DI}_2.$$

Baxdığımız sahədən kənarda olan bütün zədələnmə hallarında bu mütənasibliklər hər zaman qüvvədədir, həyacanlanma olduqda isə mütənasiblik pozulur və aşağıdakı şəkili alır:

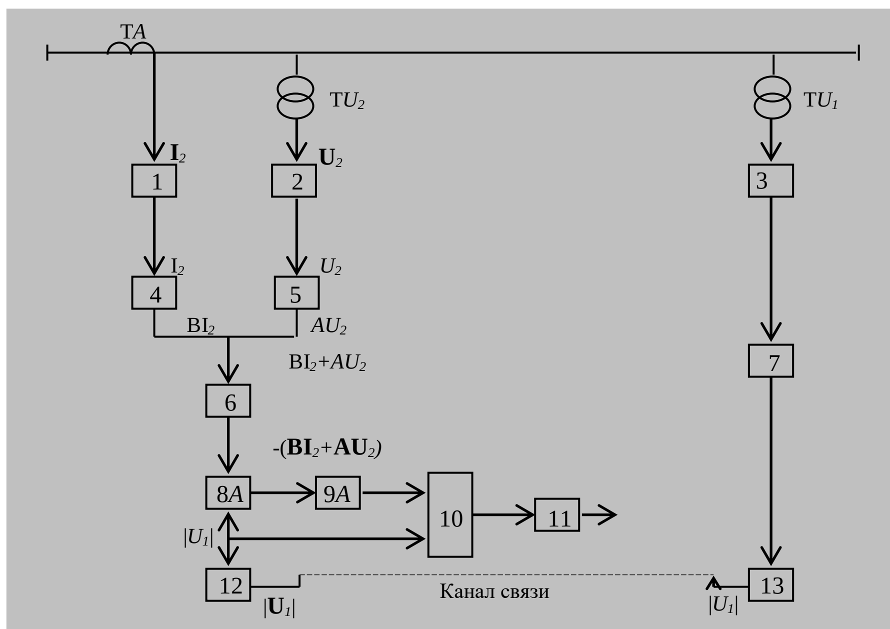
$$\mathbf{U}_1 = \mathbf{AU}_2 + \mathbf{BI}_2 + \mathbf{B}_K\mathbf{I}_K, \qquad (6.3)$$
$$\mathbf{I}_1 = \mathbf{CU}_2 + \mathbf{DI}_2 + \mathbf{D}_K\mathbf{I}_K, \qquad (6.4)$$

burada $\mathbf{B}_k$ və $\mathbf{D}_k$ – xəttin mühafizə olunan sahəsinin başlanğıcından qısaqapanma nöqtəsinə qədər olan parametrləridir. Xəttin mühafizə olunan hissəsinin başlanğıcında normal və qəza rejimlərində gərginlik və cərəyanlar arasındakı fərq aşağıdakı formulalarla hesablanır:

$$\Delta\mathbf{U}_1 = \mathbf{B}_K \mathbf{I}_K, \tag{6.5}$$

$$\Delta\mathbf{I}_1 = \mathbf{D}_K \mathbf{I}_K. \tag{6.6}$$

$\Delta\mathbf{U}_1$ və $\Delta\mathbf{I}_1$ qiymətlərinin müqayisəsi əsasında qısaqapanmanın mühafizə zonasında və ya ondan kənarda olması təyin edilir.



Şəkil 6.7. Parametrik mühafizənin blok - sxemi:
1 – müvafiq ardıcıllığın cərəyan süzgəci; *2,3* – müvafiq ardıcıllığın gərginlik süzgəcləri; *4,5* – dördqütblünün müvafiq B və A parametrlərini modelləşdirən elementləri; *6,7* – zolaq süzgəcləri; *8* –cəmləyici; *9* –gücləndirici; *10* –mütləq qiymətlərin müqayisəsi sxemi; *11* – mühafizənin reaksiya verən orqanı; *12,13* – informasiyanı çevirən və xəttin digər tərəfinə göndərən qurğu

Mühafizənin iş prinsipi bu kəmiyyətlərdən birinin ölçülməsinə əsaslanır [33]. İstifadə olunan (6.5) və ya (6.6) tənliyindən asılı olaraq mühafizə cərəyana və ya gərginliyə görə və ya kombinasiya olunmuş şəkildə yerinə yetirə bilər. Mühafizənin iş prinsipi onun blok – sxeması 6.7 şəkilində verilib.

Mühafizə aşağıdakı qaydada işləyir. Gərginlik $\mathbf{U}_2$ və cərəyan $\mathbf{I}_2$ müvafiq ardıcıllıqların 2 və 1 süzgəclərinə verilir (əks – qeyri – simmetrik QQ –dən mühafizə üçün və düz – üçfazalı QQ –dən mühafizə üçün). Sonra alınmış $\mathbf{U}_2$ gərginliyi və $\mathbf{I}_2$ cərəyanı dörd qütblünün A və B parametrlərini modelləşdirən 4 və 5 elementlərinin girişinə verilir. $\mathbf{AU}_2$ və $\mathbf{BI}_2$ gərginlikləri 4 və 5 elementlərinin girişində cəmlənir və zolaq süzgəci 6 –nın girişinə verilir, 6 süzgəci formalaşmış gərginlikdən birinci harmonikanı ayırır. Beləliklə, cəmləyicinin girişində $\mathbf{AU}_2 + \mathbf{BI}_2$ gərginliyi yaranır. Xəttin digər tərəfinin sonunda $\mathbf{U}_1$ gərginliyi müvafiq ardıcıllığın 3 gərginlik süzgəci 7 zolaq süzgəci vasitəsilə informasiyanın çevrilməsi və ötürülməsi 13 elementinə verilir, sonra rabitə kanalı ilə o, 12 qurğusuna daxil olur, oradan isə cəmləyiciyə verilir. Cəmləyicinin çıxışındakı $\mathbf{U}_1 - (\mathbf{AU}_2 + \mathbf{BI}_2)$ gərginliyi gücləndirici vasitəsilə mütləq qiymətlərin müqayisəsi sxeminin girişinə verilir və orada o, $\mathbf{U}_1$ gərginliyi ilə müqayisə olunur.

$(\mathbf{U}_1 - \mathbf{AU}_2 - \mathbf{BI}_2)\ K > \mathbf{U}_1$ bərabərsizliyi yerinə yetirən zaman müqayisə sxemi reaksiya verici orqana siqnal verir. Bundan sonra xəttin mühafizə olunan sahəsinin açılması baş verir.

Beləliklə, cəmləyiciyə bir tərəfdən $\mathbf{U}_1$, digər tərəfdən isə $-\mathbf{AU}_2 + \mathbf{BI}_2$ verilir. Normal rejimdə, həmçinin zonadan kənar zədələnmələr zamanı bu iki siqnalın fərqi nəzəri cəhətdən sıfıra bərabər olur və (6.1) formulasına uyğundur, praktiki olaraq gərgininliyin kiçik qeyri – balansıdır. Zona daxilində (7) qısaqapanma zamanı mühafizənin ölçmə orqanına $\mathbf{B}_k\mathbf{I}_k$ gərginlik siqnalı verilir ((6.3 və (6.4) bərabərliklərinə bax). Bu siqnalla mühafizə işləməyə başlayır.

Periodik sərbəst mürəkkəbələrin arzuolunmaz təsirindən mühafizəni qorumaq bloklayıcı vasitəsilə həyata keçerilir ki, bu səhvən (qeyri – selektiv) işləməni istisna edir.

YOXLAMA SUALLARI

1. Uzaq məsafələrə elektrik verilişinin yerinə yetirilməsinin hansı əsas sxemləri vardır?
2. Böyük uzunluqlu elektrik verilişində keçid prosesinin hansı xüsusiyyətləri vardır?
3. Uzaq məsafələrə elektrik verilişində sərbəst mürəkkəbələrin hesabat metodları nəyə əsaslanmışdır?
4. Uzaq məsafələrə elektrik verilişində QQ zamanı sərbəst mürəkkəbələrin hesabat metodları nəyə əsaslanmışdır?
5. Uzaq məsafələrə elektrik verilişi xəttinin sərbəst mürəkkəbələrdən mühafizənin istisna olunması necə həyata keçirilir?

F ə s i l 7

NEYTRALI İZALƏ OLUNMUŞ ŞƏBƏKƏLƏRDƏ VƏ GƏRGİNLİYİ 1 KV –ə QƏDƏR OLAN ELEKTRİK QURĞULARINDA KEÇİD PROSESLƏRİ

Neytralı izolyasiya olunmuş 6–35 kV gərginlikli elektrik şəbəkələri istehlakçıların çox hissəsinin elektrik təchizatını həyata keçirən paylayıcı şəbəkəni yaradır. Paylayıcı şəbəkələrin etibarlığı daha yüksək gərginlikli şəbəkələrə nisbətən xeyli aşağıdır. Elektrik təchizatında olan fasilələrin 70 – 80 % onların payına düşür.

Paylayıcı şəbəkələrin bir neçə xarakterik xüsusiyyətlərini ayırmaq olar.

1. 6 – 35 kV –luq şəbəkələr qidalanma mənbəyindən elektriki olaraq xeyli uzaqda yerləşir, onlarda olan keçid prosesləri elektrik sisteminin generatorlarının işinə az təsir edir, ona görə də paylayıcı şəbəkədə olan istənilən qəza zamanı elektrik sisteminin transformasiyasının yüksək pilləsinin gərginliyi sabit qalır. Bu yerli stansiyalara, böyük güclü elektrik mühərriklərinə və kompensatorlara aid edilmir, çünki onlar ayrıca nəzərə alınırlar.
2. Paylayıcı şəbəkələr kiçik en kəsikli, böyük aktiv müqavimətli naqillərlə yerinə yetirirlər, hansılar ki, keçid prosesi müddətində naqillərin qızması səbəbindən artır. QQ cərəyanlarının hesabatı zamanı aktiv müqavimətin nəzərə alınması vacibdir.
3. Paylayıcı şəbəkələrin xeyli hissəsi polad – alüminium və ya polad naqillərlə yerinə yetirilir. Belə xətlərdə böyük cərəyanlar (200A – də çox) axan zaman onların induktiv müqaviməti kəskin azalır. Polad naqillərlə yerinə yetirilmiş xətlərin cəmi induktiv müqavimətini 0,5 Om/m –ə bərabər qəbul etmək olar.
4. Böyük aktiv müqavimətə malik olan naqillərlə, böyük cərəyanlar axdıqda onların qızması yüksək olur. Naqilin temperaturunun artması onun aktiv müqavimətini artırır, bu isə öz növbəsində naqillə buraxılan cərəyanın azalmasına səbəb olur. Bu effekti QQ cərəyanının i s t i l i yə görə a z a l m a s ı adlanır.

5. Paylayıcı şəbəkələrdə statik kondensator batareyalarından geniş istifadə olunur. Onlar gərginliyin tənzimlənməsi üçün yük düyünlərində quraşdırılır və şəbəkənin texniki – iqtisadi göstəricilərini xeyli yüksəkdir. Əgər QQ batareyanın qoşulduğu yerlə və ya ona elektriki yaxın yerdə baş verərsə o zaman batareya həmçinin cərəyan mənbəyi rolunu oynayır. Lakin, batareyanın boşalması yüksək tezlikli rəqsi xarakterli olduğundan, boşalma çox tez başa çatır. Rəqslərin sönməsi elə böyük sürətlə gedir ki, sənaye tezliyinin yarım periodundan sonra onlar praktiki olaraq yox olur. Ona görə də QQ cərəyanlarının hesabatı zamanı batareyanın təsirini nəzərə almamaq olar.
6. Paylayıcı 6...35 kV-luq şəbəkələrdə fazanın yerlə qapanması zamanı cərəyan şəbəkənin tutum keçiriciliyi ilə təyin olunur və o neytralı yerlə birbaşa birləşdirilmiş şəbəkələrdə birfazalı QQ zamanı yaranan cərəyandan xeyli kiçikdir. Odur ki, neytralı izalə olunmuş şəbəkələrdə fazanın yerlə qapanma hallarında o, uzun fəaliyyətini davam etdirə bilər. Bu, istismar heyətinə imkan verir ki, QQ yerini təyin edib istehlakçıları şəbəkədən açmadan müvəqqəti elektrik təchizat sxemini yaratsın.
7. Gərginliyi 1000 V–a qədər olan elektrik qurğularında paylayıcı şəbəkələrin bir neçə xüsusiyyətləri daha böyük dərəcədə özünü biruzə verir: reaktivə nisbətən aktiv müqavimətin artaması, qidalanma mənbəyindən daha böyük elektriki uzaqda yerləşmə. Bundan əlavə burada aşağıda baxan spesifik xüsusiyyətlər də yaranır (kontakt birləşmələrinin müqavimətinin, QQ yerində keçid müqavimətinin və s. nəzərə alınmasının vacibliyi) .

7.1. NEYTRALLI İZALƏ OLUNMUŞ ŞƏBƏKƏLƏRDƏ FAZANIN YERLƏ QAPANMASI

Neytralı izalə olunmuş şəbəkələrdə fazanın yerlə qapanması s a d ə q a p a n m a adlandırılır və burada cərəyan şəbəkənin tutum müqaviməti ilə təyin olunur. Şəbəkə elementlərinin tutum müqaviməti onların induktiv və aktiv müqavimətlərindən xeyli çox olur, bu cərəyanın təyin olunması zamanı axırıncıları nəzərə almamağa imkan verir. A fazasında QQ baş vermiş elementar üçfazalı şəbəkəyə baxaq (şəkil 7.1, *a*).

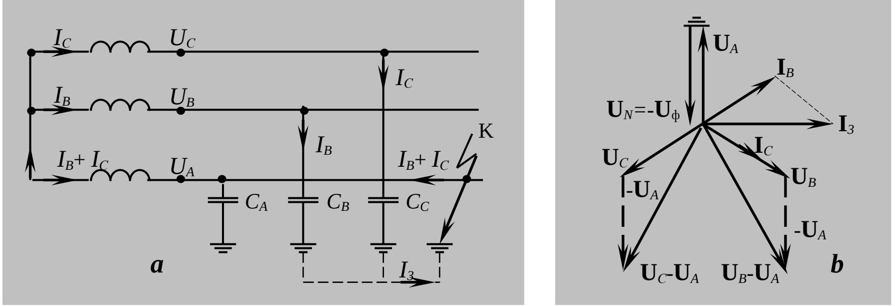
B və C fazalarında cərəyanlar aşağıdakı şəkildə təyin olunur (şəkil 7.1, b):

$$\mathbf{I}_B = \left(\mathbf{U}_B - \mathbf{U}_A\right) j\omega C_B = jU_A\left(\mathbf{a}^2 - 1\right) j\omega C_B =$$

$$= U_A \omega C_B \left(1 - \mathbf{a}^2\right) = \sqrt{3} U_A \omega C_B e^{j30^0},$$

$$\mathbf{I}_C = \left(\mathbf{U}_C - \mathbf{U}_A\right) j\omega C_C = jU_A\left(\mathbf{a} - 1\right) j\omega C_C =$$

$$= U_A \omega C_C \left(1 - \mathbf{a}\right) = \sqrt{3} U_A \omega C_C e^{-j30^0}.$$



Şəkil 7.1. Yerlə sadə qapanma: *a* – cərəyanların paylanması sxemi; *b* – vektor diaqramı

$C_A = C_B = C_C = C$ və $U_A = U_B = U_C = U_f$ sadələşdirimələrini nəzərə alaraq $\mathbf{I}_B$ və $\mathbf{I}_C$ cərəyanlarının modulları aşağıdakı kimi hesablanır

$$I_B = I_C = \sqrt{3} U_f \, \omega C.$$

Yerlə axan cərəyan I_B və I_C cərəyanlarının həndəsi cəmi kimi təyin olunur:

$$I_y = 3U_f \, \omega C.$$

Praktiki hesabatlarda yerlə qapanma cərəyanının təqribi qiymətləndirilməsi aşağıdakı formula ilə yerinə yetirilir:

$$I_y = \frac{\sqrt{3} U_{or.nom} \, \omega C}{N} l(A),$$

burada $U_{or.nom}$ – pillənin orta nominal faza gərginliyi;

N – hava elektrik veriliş xətti üçün 300 –ə bərabər, kabel xətti üçün 10 –a

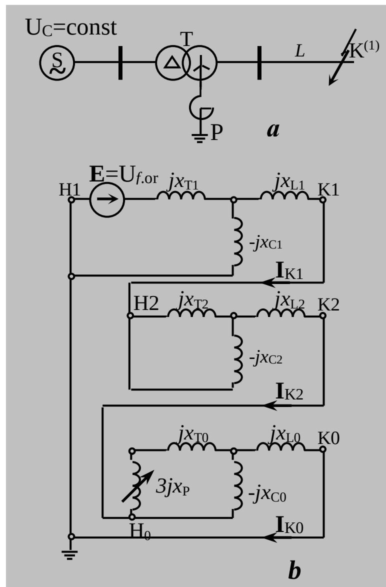
bərabər olan əmsaldır;

l – yerlə qapanma nöqtəsi ilə elektriki əlaqəli olan kabel və ya hava xəttinin cəmi uzunluğudur, km.

Belə qiymətləndirmə o deməkdir ki, yerlə qapanma cərəyanının qiyməti qapanma yerindən asılı deyil və şəbəkə xəttinin cəmi uzunluğu ilə təyin olunur.

7.2. FAZANIN YERLƏ QAPANMA TUTUM CƏRƏYANININ KOMPENSASİYASI

3 – 20 kV gərginlikli şəbəkələrdə və uzunluğu böyük olmayan hava və kabel xətlərində fazanının yerlə qapanma cərəyanı bir neçə amper təşkil edir. Bu halda qövs dayanıqsızdır və öz – özünə sönür. Odur ki, belə şəbəkələr sadə qapanma rejimində işləyə bilər. Şəbəkənin gərginliyi və uzunluğunun artırılması yerlə qapanma cərəyanının onlarla və yüzlərlə amperə qədər artmasına gətirib çıxarır. Belə cərəyanlar zamanı qövs uzun müddət yana bilər, bəzi hallarda o, qonşu fazaya keçir və nəticədə birfazalı qapanma iki və üçfazalı qapanmaya çevrilir. Qöv – sün tez bir zamanda söndürülməsi neytralın qövsöndürücü aparat vasitəsilə yerlə birləşdirilməsi və yerlə qapanma cərəyanının kompensasiyası hesabına əldə olunur.



Şəkil 7.2. Yerlə sadə qapanma: *a* – prinsipial sxemi; *b* – kompleks əvəz sxemi

Hal – hazırda qövsöndürücü aparat qismində çox hallarda qövsöndürücü reaktorlardan istifadə olunur. Neytralın yerlə birləşdirilməsi ilk dəfə Peterson sarğacı adlanan drossel sarğacı vasitəsilə yerinə yetirilmişdir. Fazanın yerlə qapanma cərəyanının kompensasiyası prinsipi elementar şəbəkədə *A* fazasının qapanması zamanı kompleks əvəz sxemi şəkil 7.2, *a* –da göstərilib. Şəbəkə sabitgərginlikli şinə qoşul – muş transformator və xəttdən ibarətdir Sıfır ardıcıllıqlı sxemlərin tutum müqavimətlərinin cəminin onun düz və əks ardıcıllıqlarının müqavimə–

tindən xeyli çox olduğu fərz edilərək yerlə qapanma yerində simmetrik mürəkkəbələr təyin olunur, yəni $x_{1\Sigma} \cong x_{2\Sigma} \cong 0$ qəbul olunmasına imkan verir. (5.6) – (5.8) –ə uyğun olaraq alırıq.

$$\mathbf{U}_{KA1} = \mathbf{E}_{A\Sigma} = \mathbf{U}_{f.or},$$

$$\mathbf{U}_{KA2} = 0 - jx_{2\Sigma}\mathbf{I}_{K2} \cong 0,$$

$$\mathbf{U}_{K0} = jx_{0\Sigma}\mathbf{I}_{K1} = -\mathbf{U}_{f.or},$$

Kompleks əvəz sxeminə (şəkil 7.2, *b*) simvolik olaraq xətt və transformatorun induktiv müqavimətləri bütün ardıcıllıqları ilə daxil edilmişdir, baxmayaraq ki, onlar çox kiçikdir və sıfıra bərabər qəbul edilir. Bu sxemdən görsənir ki, sadə yerlə qapanma cərəyanını məhdudlaşdırmaq üçün transformatorun neytralını induktivlik vasitəsilə yerlə birləşdirmək lazımdır. İnduktivliyin qiyməti elə seçilməlidir ki, sıfır ardıcıllıq sxemində cərəyanlar rezonansı yaransın. Bu zaman $x_{0\Sigma} = \infty$ halı yerlə qapanma cərəyanının tamamilə yox olması deməkdir. Transformator və xəttin induktiv müqavimətlərini nəzərdən ataraq təyin edirik ki, rezonans $x_r = x_{c0}/3$ zamanı baş verir. Qövssöndürücü reaktorun köməyi ilə birfazalı yerlə apanma cərəyanı on dəfələrlə azaldılır. Bu isə qapanma yerində qövsün söndürülməsi üçün kifayətdir. Şəbəkənin normal iş rejimində hər zaman neytralda kiçik sürüşmə vardır, yəni neytralın potensialı həmişə sıfırdan fərqlənir. Bu elektrik verilişi xətlərində fazaların qeyri – simmetrikliyi səbəbindən yaranır ki, onu paylayıcı şəbəkələrdə aradan qaldırmaq mümkün olmur. Neytralın sürüşməsi adətən faza gərginliyinin 3 – 4%–ni təşkil edir ki, o tamamilə yol veriləndir və təhlükə yaratmır. Lakin neytrala qövssöndürücü reaktor qoşulan zaman onun potensialı xeyli arta bilər. Şəkil 7.3, *a*–da prinsipial sxemi verilmiş üçxətli əvəz sxeminə baxaq.

Qövssöndürücü reaktor olmayan şəbəkələrin neytralında gərginlik aşağıdakı bərabərliklə təyin olunur

$$\mathbf{U}_N = \mathbf{U}_{ekv} = \frac{\mathbf{U}_A b_A + \mathbf{U}_B b_B + \mathbf{U}_C b_C}{b_A + b_B + b_C},$$

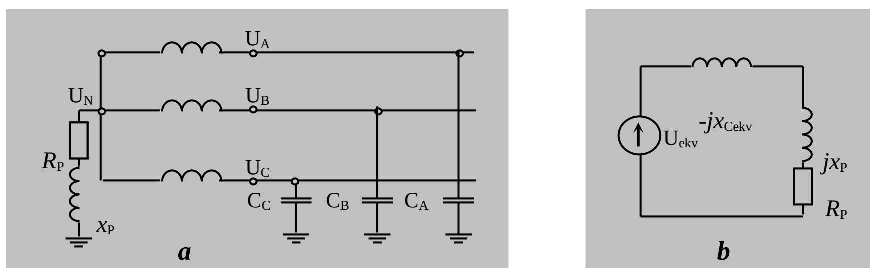
burada $b = j\omega C$ – fazanın tutum keçiriciliyidir.

Sistemin tam simmetrikliyi halı üçün, yəni $\mathbf{U}_A + \mathbf{U}_B + \mathbf{U}_C = 0$ və $b_A = b_B = b_C$ olduqda neytralda gərginlik $U_{N0} = 0$ olur. Reaktorun qoşulması zamanı

$$\mathbf{U}_{NR}\ \frac{\mathbf{U}_{ekv}}{\frac{1}{3j\omega C}+j\omega L_R+R_R}\left(R_R+j\omega L_R\right)=\mathbf{U}_{K0}\ \frac{R_R+j\omega L_R}{R_R+j\left(\omega L_R-\frac{1}{3\omega C}\right)}$$

$R_R << \omega L_R$ olduğunu qəbul edərək, aşağıdakını alarıq

$$\left|U_{NR}\right|=\left|U_{N0}\right|=\frac{\omega L_R}{\sqrt{R_R^2+\left(\omega L_R-\frac{1}{3\omega C}\right)^2}} \qquad (7.1)$$



Şəkil 7.3. Neytralın potensialının təyini üçün sxem: üçxətli (a) və ekvivalent (b) əvəz sxemləri

Yerlə qapanma tutum cərəyanının tam kompensasiyası zamanı (ωL_R = $1/3\omega C$) alarıq

$$\left|U_{NR}\right|=\left|U_{N0}\right|=\frac{\omega L_R}{R_R},$$

yəni neytrala reaktor qoşulduğu halda neytralın potensialı neytralda reaktor olmadığı zaman mövcud olan U_{N0} potensialdan o qədər böyük olacaqdır ki, nə qədər ki, reaktorun induktiv müqaviməti onun aktiv müqavimətindən neçə dəfə böyükdür. x_R/R_R –in nisbəti onluqlara çata bilər, neytralın potensialı isə faza gərginliyindən çox ola bilər ki, bu yol verilməzdir. Neytralın potensialının azaldılması (7.1) tənliyindən göründüyü kimi U_{N0} –ın qiymətinin azaldılması və ya rezonans konturunun pozulması ilə əldə oluna bilər.

Neytralı rezonanslı yerlə birləşdirilən sistemlərdə U_{N0} azaltmaq məqsədilə fazaların tutumlarını simmetrikləşdirmək üçün naqillərin transpozisiyası yerinə yetirilir, yəni dayaqda faza naqillərinin asılma yerləri dəyişdirilir. Elektrik qurğularının quraşdırılma qaydalarına (EQQQ –yə) görə fazalar üzrə yerə nisbətən tutumların qeyri – simmetriklik dərəcəsi 0,75% –dən çox olmamalıdır.

Rezonans konturunun köklənməsinin, qövsün söndürülmə şəraitinin pisləşməsinə səbəb olmayacaq kiçik pozulması, transpozisiyası olmayan şəbəkələrdə xüsusilə effektivdir. Konturun köklənməsinin pozulması artıq kompensasiya istiqamətində aparılır. Bu hər hansı bir xəttin hissəsində fazalardan birinin açılmasından sonra tam kompensasiya rejiminə keçidi istisna edir.

Elektrik qurğularının quraşdırma qaydaları [21] tutum cərəyanları yol verilən həddən çox olduğu halda yerlə qapanma tutum cərəyanlarının kompensasiyasını tələb edir (aşağıdakı cədvəldə xətləri dəmir və dəmir – beton dayaqlarda çəkilmiş şəbəkələrdə tutum cərəyanlarının yol verilən qiymətləri mötərizədə göstərilib).

Müxtəlif gərginlik sinifli şəbəkələrdə xətlərin uzunluğunun təxmini qiymətləri və həmin gərginliklərə müvafiq olan yol verilən cərəyanların qiymətləri

Gərginlik sinifi, кV	Yerlə qapanma cərəyanının yolverilən qiyməti, A	Şəbəkənin 100кm uzunluğu üçün yerlə qapanma cərəyanları, A		Şəbəkənin yol verilən uzunluğu, кm	
		Hava xətti	Kabel xətti	Hava xətti	Kabel xətti
3	30(10)	0.9	31.5	3333(1110)	95
6	30(10)	1.8	63	1667(555)	47.6
10	20(10)	3	105	660(330)	35
15	15(10)	–	–	–	–
20	15(10)	–	–	–	–
35	10	10.6	375	94	2.6

EQQQ fazası yerlə qapanan şəbəkələrin işinin davam etmə müddətini məhdudlaşdırmır. Buna baxmayaraq kı, həmçinin sadə yerlə qapanma istehlakçıların iş rejimini pozmur o, mümkün qədər tez aşkar olunmalı və ləğv edilməlidir. Ona görə ki, yerləqapanma yeri hər zaman insanlar və heyvanlar təhlükəlidir və bir fazanın qapanmasının fazalararası qapanmaya çevrilmə ehtimalı həmişə mövcüddur.

M ə s ə l ə 7.1. Ümumi uzunluğu 200km hava xəttlərindən ibarət olan 37kV gərginlikli şəbəkədə sadə metalik yerlə qapanma zamanı cərəyanı təyin edin.

Xətt: naqil AC – 95, naqillər üçbucağın təpə nöqtələrində yerləşib, naqillər arası məsafə d_{AB} = 4,06m, d_{AC} = 3,5m, d_{BC} = 3,09m; naqillərin sallanma hündürlüyü $h_A = h_C$ = 8m, h_B = 11m .

Xəttin verilmiş parametrlərinə əsasən tapırıq:
naqilin radiusu $6{,}75 \cdot 10^{-3}$m,
naqillər arası orta həndəsi məsafə

$$D_{or} = \sqrt[3]{4.06 \cdot 3.5 \cdot 3.09} = 3.53m;$$

üç naqillər sisteminin orta həndəsi radiusu

$$R_{or}^{/} = \sqrt[3]{6.75 \cdot 10^{-2} \cdot 3.53^{2}} = 0.44;$$

A, B, C fazalarının naqillərinin yer səthinə nisbətən güzgü əkslərinə qədər olan orta məsafə

$$D_1 = 2\frac{8+11+8}{3} = 18m;$$

xəttin 1km uzunluğunun tutum müqaviməti

$$x_{CO} = 396\left(\ell g\frac{18}{0,44}\right) \cdot 10^3 = 636 \cdot 10^3 Om;$$

və müvafiq olaraq ümumi şəbəkənin

$$x_C == \frac{636}{200} \cdot 10^3 = 3180\, Om;$$

Yerlə qapanma cərəyanın axtarılan qiyməti

$$I_y = 3 \cdot \frac{37000}{\sqrt{3}(-j3180)} = j20\ A.$$

Bu halda yerlə qapanma cərəyanını tam kompensasiya etmək üçün transformatorun 37kV – luq dolağının neytralını induktiv müqaviməti x_L olan sarğac vasitəsilə yerlə birləşdirmək lazımdır, yəni

$$x_L == \frac{3180}{3} = 1060\, Om.$$

7.3. GƏRGİNLİYİ 1000 VOLTA QƏDƏR OLAN QURĞULARDA QQ CƏRƏYANLARININ HESABATI

Gərginliyi 1000 V –a qədər olan qurğularda QQ cərəyanlarının hesabatı daha yüksək gərginlikli şəbəkələr üçün aparılan analoji hesabatlardan bir neçə xüsusiyyətləri ilə fərqlənir:

1. QQ cərəyanının qiymətinə qısaqapanma dövrəsinin aşağıda verilən elementlərinin aktiv və induktiv müqavimətləri təsir edir:
   - uzunluğu 10 m və ondan yuxarı olan naqillərin, kabellərin və şinlərin;
   - avtomat açarların dövrə ayırıcılarının cərəyan sarğacları;
   - çoxsarğılı cərəyan transformatorlarının birinci dolaqları.

Qeyd olunan bu elemenlərin müqavimətlərinin qiyməti məlumat kitablarında [19, cədvəl 2.49 – 2.54] verilib.

2. Aparatların kontaktlarının keçid müqavimətləri (avtomat açarların, ayırıcıların, kəsicilərin və s.) QQ cərəyanlarına xeyli təsir edir. Kontaktar haqqında doğru məlumatlar olmadıqda şəbəkələrdə QQ cərəyanlarının hesabatı zamanı (gücü 1600 kVA –yə qədər, 1600 kVA da daxil olmaqla, olan transformatordan qidalanan şəbəkədə) sxemə aktiv müqvimətin daxil edilməsi ilə ümumi müqavimətin nəzərə alınması tövsiyyə olunur [22]. Bu müqavimətin qiyməti 0,015 – 0,030 Om həddində dəyişir və qidalandırıcı mənbəyin şinindən QQ yerinin uzaqlığından asılıdır. Keçid müqavimətinin aşağıdakı qiymətləri tövsiyyə olunur:
   - yarımstansiyanın paylayıcı qurğusu üçün – 0,015 Om;
   - birinci sex paylayıcı məntəqəsi üçün, həmçinin yarımstansiyanın şitindən və baş maqistraldan radial xətlərlə qidalanan aparatların sıxaçlarında QQ üçün – 0,02 Om;
   - ikinci sex paylayıcı məntəqəsi üçün – 0,025 Om;
   - ikinci paylayıcı məntəqədən qidalanan, bilavasitə elektrik qəbuledicilərində qoşulmuş elektrik aparatları üçün – 0,03 Om.
3. Kabellərin və şin naqillərinin tərpənməz kontak birləşmələrinin aktiv keçid müqavimətləri QQ cərəyanına müəyyən təsir göstərir. Daha çox qarşılanan birləşmə yerləri: şin naqili – şin naqili, şin naqili – avtomat açar, kabel – avtomat açar birləşmələrində [19, cədvəl 2.56]. Kabel – şin naqilinin keçid müqaviməti kabel – kabel və şin naqili - şin naqilinin orta hesabı keçid müqaviməti kimi təyin edilir. Tərpənməz kontaktların aktiv keçid müqavimətlərinin qiyməti [19, cədvəl 2.56] – da verilib. Müqavimətlərin çox hissəsinin qiymətinin kiçik olmasına baxmayaraq, hesabat sxemində tərpənməz kontaktların sayı çox olan hallarda onların cəmlənmiş qiyməti hiss olunan qədər olur.
4. Elektrik mühərriki, qoşulduğu şəbəkə qovşağında və ya ondan elektriki uzaq olmayan nöqtədə QQ olduqda tərtib olunan əvəz sxemində o, aktiv və reaktiv müqaviməti və E_{Om} = 0,9 U_{nom} EHQ ilə nəzərə alınır. Mühərrikin müqavimətinin kataloq məlumatları olmadıqda onlar aşağıdakı formulalarla təyin olunur:

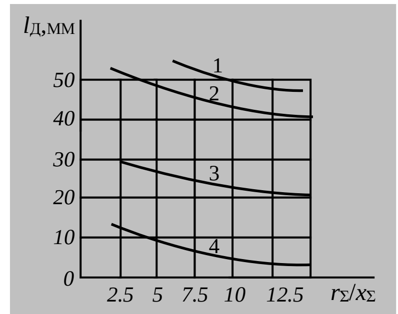
$$r_m = \frac{0.63 P_{nom} 10^6}{\left(K_i I_{nom}\right)^2}, \qquad (7.2)$$

$$x_m = \sqrt{\left(\frac{U_{nom}10^3}{\sqrt{3}K_i I_{nom}}\right)^2 - r_m^2}, \qquad (7.3)$$

burada P_{nom} – nominal gücü, kVt;
I_{nom} – nominal cərəyanı;
U_{nom} – elektrik mühərrikinin nominal gərginliyini, kV;
K_i – işəsalma cərəyanının dəfəliyini göstərir.

5. Praktiki olaraq istənilən QQ zamanı zədələnmə yerində elektrik qövsü yaranır. Bu gövs QQ cərəyanını azaldır. Qövs hesabatda $r_q = U_q / I_{K0}$ formulası ilə təyin olunan aktiv müqavimətlə nəzərə alınır. Burada $U_q = E_q / \ell_q$ – qövsün gövdəsində intensivlikdir, V/mkm; l_q – qövsün uzunluğudur, mm; I_{K0} – qövs nəzərə alınmadan zədələnmə yerində cərəyanın hesablanmış qiymətidir, A. I_{K0} > 1000 A olduqda E_q = 1,6 V/mm. Qövsün uzunluğu QQ yerində faza naqilləri arasındakı *a* məsafəsindən asılı olaraq təyin olunur. *a* < 5mm olduqda o 4*a* –ya, 5mm < *a* < 50 mm olduqda $20{,}41\,\ell n\, a / 2e^{-0.15(r_\Sigma / x_\Sigma)}$ –ə və *a* > 50 mm olduqda isə *a* –ya bərabərdir.

l_q –nin r_Σ / x_Σ –dən və fazalararası məsafədən asılılığı şəkil 4.7.–də göstərilib. Fazalararası məsafələr [19, cədvəl 2.57] –də verilib.



Şəkil 7.4. Fazalararası məsafə 50, 30, 9, 3 mm halları üçün qövsün uzunluğunun r_Σ / x_Σ nisbətindən hesabı asılılıqları (müvafiq olaraq 1 – 4 əyriləri)

6. Hesabat sxeminin qidalandığı gərginliyi 1 kV–dan yüksək olan enerjisistemin və şəbəkənin mü–qviməti yüksək gərginlikli şəbə–kədə olduğu kimi (2.31) ifadəsi ilə təyin olunur.

Əgər,

$$S^{(3)}_{QQ\,yük} / S_{Tnom} > \frac{1000}{U_K\%},$$

olduqda $x_C = 0$ olur. Burada $S^{(3)}_{QQ\,yük}$ – alçaq gərginliyi 1 kV–ə qədər olan transformatorun yüksək gərginlik tərəfindəki QQ –nin gücüdür; S_{Tnom}, U_K%– transformatorun parametrləridir.

7. Çox hallarda gərginliyi 1000 V –a gədər olan qurğuların gidalandırılması radial sxem üzrə alçaq gərginlik tərəfdə dolağının neytralı yerlə birləşdirilmiş transformatordan yerinə yetirilir. Ona görə də 1 kV –yə gədər dövrələrdə üçfazalı QQ cərəyanı hər zaman birfazalı QQ cərəyanından böyükdür, hansı ki, başqa növ qapanmaların cərəyanına nisbətən ən kiçikdir.

Üçfazalı QQ cərəyanının periodik mürəkkəbələrinin başlanğıc təsiredici qiyməti aşağıdakı ifadə ilə təyin olunur

$$I^{(3)}_{p0} = \frac{U_{or.nom}10^3}{\sqrt{3}\sqrt{r^2_{1\Sigma} + x^2_{1\Sigma}}}, \text{ kA.}$$

Burada $U_{or.nom}$ –QQ yaranmış yerdə şəbəkə pilləsinin orta nominal gərginliyidir, kV;

$x_{1\Sigma}$, $r_{1\Sigma}$ – cərəyanın periodik mürəkkəbəsi I_{p0} –ın axdığı şəbəkənin bütün elementlərinin düz ardıcıllığının reaktiv və aktiv müqavimətlərinin cəmidir, mOm–la.

$x_C = 0$ olduqda U_{or} –nın nominal gərginlik U_{nom} ilə əvəz olunmasına yol verilir.

Qidalanma mənbəyindən *zərbə cərəyanı* (4.6) ifadəsi ilə təyin olunur. Komplekt transformatorlar yarımstansiyasının paylayıcı qurğusunun alçaq tərəfində QQ zamanı zərbə əmsalının qiymətinin $K_Z = 1{,}3$ qəbul olunmasına yol verilir və yerdə qalan bütün hallarda $K_Z = 1$ qəbul olunur.

Yerli asinxron mühərriklərdən QQ cərəyanının periodik mürəkkəbərinin başlanğıc təsiredici qiyməti aşağıdakı formula ilə hesablanır:

$$I^{(3)}_{p\max} = \frac{E^n_{nom}10^3}{\sqrt{\left(x_m + x_{yg}\right)^2 + \left(r_m + r_{yg}\right)^2}}, \qquad (7.15)$$

burada E^n_{nom} –mühərrikin ifrat keçirici EHQ –sidir,

$E^n_{nom} = 0{,}9U_{nom}$;

x_m, r_m – mühərrikin (7.2) və (7.3) ifadələri ilə hesablanmış müqavimətləridir;

x_{yg}, r_{yg} – QQ nöqtəsi ilə mühərrikin qoşulduğu tərəfin müqavimətləridir. Əgər mühərrikin gücü qidalandırıcı transformatorun gücünün 20% –dən aşağı

olarsa, və ya əgər $Z_{yg} > 1{,}5\ Z_T$ (Z_T transformatorun müqavimətidir) olarsa onda QQ nöqtəsinin mühərrik tərəfindən qidalandırması nəzərə alınmır.

Birfazalı QQ cərəyanının periodik mürəkkəbələrinin başlanğıc təsiredici qiyməti qeyri – simmetrik QQ –nin hesabat qaydası üzrə (5.4.4 bəndinə bax) aşağıdakı ifadə ilə hesablanır:

$$I_{p0}^{(1)} = \frac{3U_{or.nom}}{\sqrt{3}\sqrt{\left(r_{1\Sigma}+r_{2\Sigma}+r_{0\Sigma}\right)^2+\left(x_{1\Sigma}+x_{2\Sigma}+x_{0\Sigma}\right)^2}} = \frac{\sqrt{3}U_{or.nom}}{\sqrt{\left(2r_{1\Sigma}+r_{0\Sigma}\right)^2+\left(2x_{1\Sigma}+x_{0\Sigma}\right)^2}}, \qquad (7.16)$$

burada $U_{or.nom}$ – QQ olan şəbəkənin orta nominal gərginliyidir, kV;

$r_{1\Sigma}$, $x_{1\Sigma}$, $r_{0\Sigma}$, $x_{0\Sigma}$ – QQ nöqtəsinə nisbətən düz və sıfır ardıcıllıqlı müqavimətlərin cəmidir.

Transformatorun sıfır ardıcıllıqlı müqaviməti məlumat kitabında [19, cədvəl 2.50] –də verilib. Onlar çox amillərdən asılıdırlar: a) yerləbirləşdirici naqilin yerləşmə yerindən və yerinə yetirilməsindən; b) keçirici metal konstruksiyaların yaxınlığından və s. Praktiki hesabatlarda şinin sıfır ardıcıllıqlı müqavimətinin aşağıdakı kimi qəbul edilməsinə yol verilir: $r_{Ş0} \cong 10r_{Ş1}$, $x_{Ş0} \cong 10x_{Ş1}$. Üçdamarlı kabel üçün: $r_{K0} \cong 10r_{K1}$, $x_{K0} \cong 10x_{K1}$

M ə s ə l ə 7.2. Şəkildə göstərilən sxem üçün növbə ilə K1 və K2 nöqtələrində qısaqapanma zamanı cərəyanın ən böyük və ən kiçik qiymətlərini təyin edin.

Transformator T: 1000kVA, 10 / 0.4kV, Y / Y_0 – 12.

Şinlər Ş: 3,5m, A – 2 (80 x 8), fazalararası məsafə 200mm.

Magistral şin naqili MŞ: 50m, I_y = 1600A.

Paylaşdırıcı şin naqili PŞ: 4m, I_y = 600A.

Kabellər: L1 = 10m, A (3 x 50 + 1 x 25); L2 = 8m, A (3 x 35 + 1 x 16); L3 = 11m, A (3 x 16 + 1 x 10); bütün kabellər alüminium örtüktədir.

Avtomatlar A1 1500A; A2 2600A; A3 50A.

H ə l l i . Əlavə 6 –da verilmiş məlumat materialından istifadə edərək verilmiş sxemin elementlərinin müqavimətlərini tapırıq:

transformator T üçün

$$r_1 = 1.7\,mOm, \quad x_1 = 8.6\,mOm, \quad r_0 = 0.9\,mOm, \quad x_0 = 80\,mOm;$$

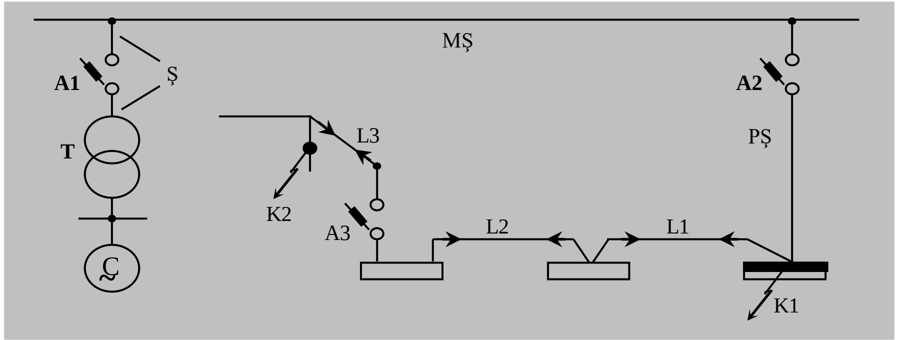
Ş şini üçün

$$r_1 = 3.5\cdot 0.034 = 0.12\,mOm, \quad x_1 = 3.5\cdot 0.145\,\ell g\,\frac{1.26\cdot 200}{0.23(80+24)} = 0.51\,mOm,$$

$$r_0 = 10\cdot 0.12 = 1.2\,mOm, \quad x_0 = 8.5\cdot 0.51 = 4.4\,mOm;$$

MŞ şin naqili üçün

$r_1 = 50 \cdot 0.034 = 1.7\,mOm, \quad x_1 = 50 \cdot 0.023 = 1.15\,mOm,$ sıfır ardıcıllıqlı üçün şərti olaraq qəbul edək $r_0 \approx 10 r_1 = 10 \cdot 1.7 = 17\,mOm, \quad x_0 = 10 x_1 = 10 \cdot 1.15 = 11.5\,mOm;$



PŞ şin naqili üçün

$r_1 = 4 \cdot 0.1 = 0.4\,mOm, \quad x_1 = 4 \cdot 0.1 = 0.4\,mOm,$ sıfır ardıcıllıqlı üçün bundan əvvəlkinə müvafiq olaraq hesablayırıq $r_0 = 4\,mOm = x_0;$

kabellər üçün

$$L1 \quad r_1 = 10 \cdot 0.77 = 7{,}7\,mOm, \quad x_1 = 10 \cdot 0.068 = 0.68\ mOm,$$
$$r_0 = 10 \cdot 1.4 = 14\,mOm, \quad x_0 = 10 \cdot 0.19 = 1.9\,mOm;$$
$$L2 \quad r_1 = 8 \cdot 1.1 = 8.8\,mOm, \quad x_1 = 8 \cdot 0.065 = 0.52\ mOm,$$
$$r_0 = 8 \cdot 1.8 = 14.4\,mOm, \quad x_0 = 8 \cdot 0.23 = 1.84\,mOm;$$
$$L3 \quad r_1 = 11 \cdot 2.4 = 26.4\,mOm, \quad x_1 = 11 \cdot 0.034 = 0.92\ mOm,$$
$$r_0 = 11 \cdot 3.5 = 38.5\,mOm, \quad x_0 = 11 \cdot 0.33 = 3.63\,mOm;$$

avtomatlar üçün

$$A1 \quad r = x = 0, \quad A2 \quad r = 0.12\,mOm, \quad x = 0.09\,mOm,$$
$$A3 \quad r = 5.5\,mOm, \quad x = 2.7\,mOm$$

K1 nöqtəsində qısaqapanmada kontakt birləşmələrinin müqavimətini $r \approx 20mOm$ qəbul edək. Buna qörə də, bu nöqtədə nəzarən sxemin yekun müqaviməti aşağıdakı kimi təyin olunur:

$$r_{1\Sigma} = 1.7 + 0.12 + 1.7 + 0.4 + 0.12 + 20 = 24\,mOm,$$
$$x_{1\Sigma} = 8.6 + 0.51 + 1.15 + 0.4 + 0.09 = 10.75\,mOm;$$
$$r_{0\Sigma} = 0.9 + 1.2 + 17 + 4 + 0.12 + 20 = 43.22\,mOm,$$
$$x_{0\Sigma} = 80 + 4.4 + 11.5 + 4 + 0.09 = 100\,mOm.$$

Üçfazalı qısaqapanma halı üçün cərəyan

$$I_K = \frac{400}{\sqrt{3}\sqrt{24^2 + 10.75^2}} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 26.5} = 8.7kA.$$

Birfazalı qısaqapanma halı üçün cərəyan

$$I_K = \frac{\sqrt{3} \cdot 400}{\sqrt{(2 \cdot 24 + 43.22)^2 + (2 \cdot 10.75 + 100)^2}} = \frac{\sqrt{3} \cdot 400}{152} = 4.55kA.$$

Kontakt birləşmələrinin müqavimətləri nəzərə alınmadıqda bu cərəyanların qiymətləri müvafiq olaraq $I_K^{(3)} = 20kA$ və $I_K^{(1)} = 5.5kA$ –ə bərabər olardı.

$x/r = 10.75/24 = 0.45$ olduqda zərbə əmsalı $k_z \approx 1$ olduğundan zərbə cərəyanı $i_z = \sqrt{2} \cdot 8.7 = 12.3kA$ təşkil edir.

K2 nöqtəsində qısaqapanma halı üçün yekun müqavimət (kontakt birləşmələrinin müqavimətini r ≈ 30 mOm qəbul etməklə) aşağıdakı kimi hesablanacaq:

$$r_{1\Sigma} = 24 + 7.7 + 8.8 + 26.4 + (30 - 20) + 5.5 = 82.4\,mOm,$$

$$x_{1\Sigma} = 10.75 + 0.68 + 0.52 + 0.92 + 2.7 = 15.57\,mOm;$$

$$r_{0\Sigma} = 43.22 + 14 + 14.4 + 38.5 + (30 - 20) + 5.5 = 125.5\,mOm,$$

$$x_{0\Sigma} = 100 + 1.9 + 1.84 + 3.63 + 2.7 = 110\,mOm.$$

Qısaqapanma olduqda cərəyanların qiyməti aşağıdakı qymətlərə malik olmalıdırlar:
Üçfazalı QQ olduqda

$$I_K^{(3)} = \frac{400}{\sqrt{3}\sqrt{82.4^2 + 15.57^2}} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 83.8} = 2.75kA,$$

Birfazalı QQ olduqda

$$I_K^{(1)} = \frac{\sqrt{3} \cdot 400}{\sqrt{(2 \cdot 82.4 + 125.5)^2 + (2 \cdot 15.576 + 110)^2}} = \frac{\sqrt{3} \cdot 400}{324} = 2.14kA,$$

Kontakt birləşmələrinin müqavimətləri nəzərə alınmadıqda bu cərəyanların qiymətləri müvafiq olaraq $I_K^{(3)} = 40.5kA$ və $I_K^{(1)} = 2.8kA$ -ə bərabər olardı.

YOXLAMA SUALLARI

1. Neytralı izalə olunmuş şəbəkələrdə keçid proseslərinin xüsusiyyətləri nədən ibarətdir?
2. Cərəyanın istilik düşgüsü nə deməkdir?
3. Hansı növ qapanma yerlə sadə qapanma adlanır?
4. Sadə qapanma cərəyanının kompensasiyası nə üçün lazımdır və o necə həyata keçirilir?
5. Artıq kompensasiyanın məqsədi nədən ibarətdir?

6. 1000 V –a qədər şəbəkələrdə QQ cərəyanlarının xüsusiyyətləri hansılardır?
7. 1000 V –a qədər şəbəkələrdə QQ cərəyanlarının maksimal və minimal qiymətləri necə təyin olunur?

F ə s i l 8

QISAQAPANMA CƏRƏYANLARININ MƏHDUDLAŞDIRILMASI

8.1. QISAQAPANMA CƏRƏYANLARININ MAKSİMAL SƏVİYYƏSİ

Qısaqapanma cərəyanlarının maksimal səviyyəsi elektrik sistemi avadanlıqlarının qəza rejimində iş şəraitini təyin edir. Şinlərin, cərəyankeçiricilərin, naqillərin və kabellərin, elektrik aparatlarının seçilməsi və yoxlanılması qısaqapanmanın parametrlərinə görə həyata keçirilir yetirilir. Onlarla enerjisistemdən[3], o cümlədən Azərbaycan Resbublikası enerjisistemindən yığılan statistik məlumatların analizi elektrik avadanlıqların istismarı üçün mühüm nəticələr əldə etməyəimkan verir:

1. Müxtəlif gərginlikli şəbəkələrdə QQ cərəyanlarının qiyməti daima artır. Bu şəbəkənin inkişafı ilə – yeni elektrik verilişi xətlərinin və neytralı yerlə birləşdirilmiş transformatorların, əlavə avadanlıqların istismara qoşulması və nəticədə QQ nöqtəsi ilə mənbə arasında qısaqapanma dövrəsinin ümumi müqavimətinin azalması ilə əlaqədardır. Keçmiş SSRİ –dən müxtəlif illərdə enerjisistemlərin istismarı zamanı qeydiyyata alınmış QQ –nın qiymətləri aşağıdakı cədvəldə verilib.
2. Çox hallarda birfazalı QQ cərəyanının qyməti üçfazalıdan çoxdur (cədvələ bax). Bu sıfır ardıcıllıqlı ümumi müqavimətin $x_{0\Sigma}$ –nın kiçik olması ilə izah olunur (5.4.6 bəndinə bax). Bu müqavimətin qyməti sxemdə olan yerlə birləşdirilmiş neytralların sayından asılıdır. Sıfır ardıcıllıqlının əvəz sxemində yerlə birləşdirilmiş hər bir neytral paralel budaq yaradır ki, bununda nəticəsində $x_{0\Sigma}$ azalır. Birfazalı QQ cərəyanlarının səviyyəsinin yüksəlməsinə istismara böyük güclü (300 – 800 MVt) turbogeneratorlar bloklarının verilməsi şərait yaradır, çünki adətən blok transformatorlarının

neytralı yerlə birləşdirilir. Həmin bu efekt neytralı yerlə birləşdirilmiş şəkildə işləyən güc avtotransformatorlardan geniş istifadəyə imkan yaradır. Birfazalı QQ–nın maksimal cərəyanının üçfazalı QQ –dən yuxarı olması açarların komutasiya qabiliyyətinin birfazalı QQ –nin cərəyanın qiymətinə görə yoxlanılmasının vacibliyini göstərir. Birfazalı üçfazalı QQ –lərə nisbətən daha tez – tez baş verdiyinə görə onlar açarların işləmə qabiliyyətini çətinləşdirir (1.1 bölməsinin cədvəlinə bax)

Müxtəlif gərginlikli şəbəkələrdə QQ cərəyanlarının maksimal təsiredici qiymətləri

Cədvəl 1.

QQ –nin ölçmə ili	QQ cəryanları, kA, gərginliklər üzrə, кV					
	35kV		110kV		220kV	
1972	–	36.5	36.4	36.0	44.6	37.2
1975	–	37.6	40.0	43.0	46.7	44.0
1978	–	39.4	52.0	50.0	52.2	42.0
1983	–	40.9	49.0	50.0	42.4	42.4
1990 (прогноз 1983 г.)	–	39.6	50.6	46.0	62.4	55.6

Q e y d. Cədvəldə birinci qrafada birfazalı, ikinci qrafada isə üçfazalı QQ cərəyanlarının qiymətləri verilib

8.2. QISAQAPANMA CƏRƏYANLARININ MƏHDUDLAŞDIRILMA VASİTƏLƏRİ

Qısaqapanma cərəyanların səviyyəsinin artması elektrik sisteminin bütün güc elementlərinin istismarının etibarlığının azalmasına səbəb olur. İlk növbədə sərt şinlər, kabellər, elektrik aparatları bundan zərər çəkirlər. QQ cərəyanlarının səviyyəsinin artması generator və transformatorlara aşağı dərəcədə təsir etməsinə baxmayaraq, onlar üçün də bu artımın mənfi nəticələrini nəzərə almaq lazımdır. Amerikanın Virciniya ştatında bir enerji şirkətinin məlumatına görə enerjisistemin 14 illik istismarı müddətində zədələnmiş transformatorların sayı 6 % –dən 10,6 %–ə qədər artmışdır, belə ki, 70 % –dən çox halllrda zədələnməyə səbəb transformatorların QQ –nın birbaşa keçid cərəyanlarına görə elektrodinamiki dayanıqlığının kifayət qədər olmaması olmuşdur.

Enerjisistemində QQ cərəyanlarının məhdudlaşdırılmasına həmişə kifayət qədər böyük diqqət yetirilir. Bunun üçün həm sxem həllərindən, həm də xüsusi qurğulardan istifadə olunur. Daha geniş istifadə olunur:

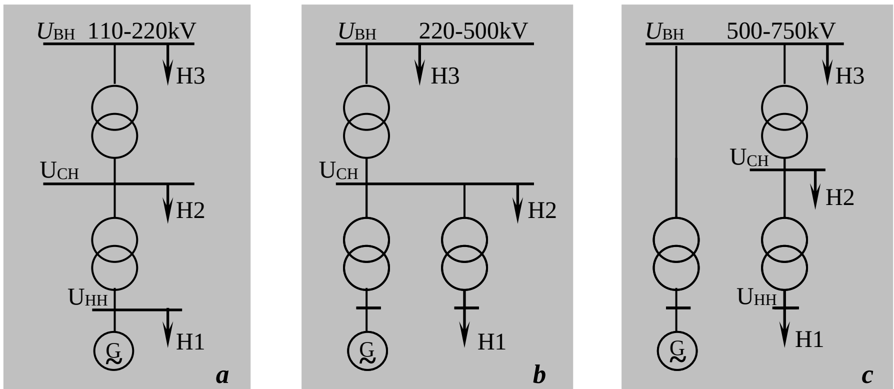
- şəbəkələrin stukturunun və parametrlərinin optimallaşdırılması;
- şəbəkələrin stasionar yaxud avtomatik bölünməsi;
- cərəyanməhdudlaşdırıcı qurğulardan istifadə olunması;

- elektrik şəbəkələrində neytralın yerlə birləşdirilmə rejiminin optimallaşdırılması.

Müxtəlif nüv QQ –lər zamanı cərəyanın məhdudlaşdırılmasının tələb olunan dərəcəsi yerli şəraitdən, həmçinin enerjisistemin şəbəkələrinin texniki – iqtisadi göstəricilərdən asılı olaraq müxtəlif məhdudlaşdırıcı vasitələrdən və ya onların ən böyük texniki iqtisadi effekt verəcək kombinasiyalardan istgifadə olunmaqla yerinə yetirilir.

8.2.1. Şəbəkələrin strukturunun və parametrlərinin optimallaşdırılması (sxem həlli)

Sxem həlli adətən enerjisistemin inkişaf sxeminin lahiləyəndirilməsi mərhələsində tətbiq olunur. Bu zaman elektrik stansiyaların gücünü verilməsinin optimal sxemi və enerjisistemin şəbəkə elementlərinin parametrləri seçilir.



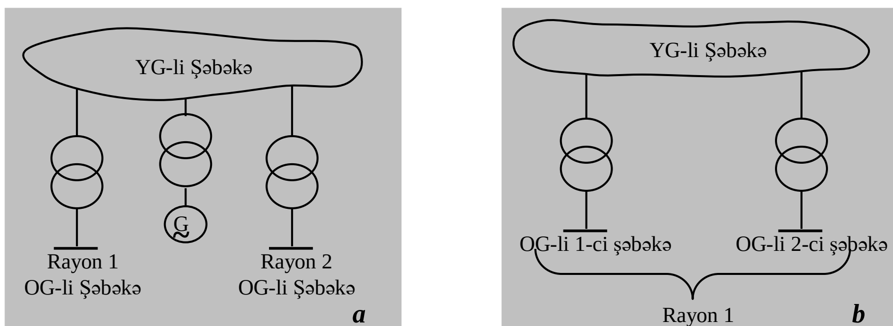
Şəkil 8.1. Elektrik stansiyalarının güclərinin verilmə sxemləri: *a* – generatorlarının gücü 30 – 100 MVt olan İEM – ləri; *b* – generatorlarının gücü 100 – 300 MVt olan blok stansiyaları; *c* – generatorlarının gücü 500 – 1200 MVt olan blok stansiyaları

Elektrik stansiyalarının güclərinin verilmə sxemi gücü 500 – 1200MVt olan generatorların istismara verilməsi zamanı, həmçinin elektrik stansiyalarının vahid gücünün 3600 – 6400 MVt – qədər artırılması zamanı dəyişdirilir, yəni şəkil 8.1, *a* –da göstərilən sxemdən *b* sxeminə, sonra isə *c* sxeminə keçid yerinə yetirilir.

Şəkil 8.1, *c* –də təvsir olunmuş sxemdə alçaq və orta qərginlikdə QQ cərəyanlarının məhdudlaşdırılması ilə bağlı kifayət qədər çətinliklər yaranır. Şəkil 8.1, *b* sxeminə keçid zamanı QQ cərəyanının ən böyük artımı orta gərginlik şəbəkəsində, az artımı – yüksək gərginlik şəbəkəsində müşahidə olunur, alçaq gərginlik şəbəkəsində isə QQ cərəyanlarının səviyyəsi stabilləşir. Şəkil 8.1, *c* –də

verilmiş sxemdə QQ cərəyanının səviyyəsinin ən böyük artımı yüksək gərginlik şəbəkəsində müşahidə olunur.

Şəbəkənin strukturunun optimallaşdırılması QQ cərəyanlarının məhdudlaşdırılmasına effektiv vasitədir. Bu məqsədlə şəbəkələrin bölgələr (uzununa) üzrə bölünməsi tətbiq olunur. Bu zaman şəbəkənin (rayonun) ərazisinin bir hissəsinin eyni gərginlikli sxemləri bir–biri ilə yalnız yüksək gərginlikli şəbəkə vasitəsilə əlaqələndirilirlər (şəkil 8.2, *a*). Şəbəkələrin yerli və ya eninə bölünməsi eyni bir gərginlikli şəbəkələrin hər hansı bir rayonun ərazisində onların yaxınlaşdırılması və yüksək gərginlikli şəbəkə vasitəsilə əlaqələndirməklə həyata keçirilir (şəkil 8.2, *b*).



Şəkil 8.2. Şəbəkələrin strukturunun optimallaşdırılması: şəbəkələrin bölgə (uzununa) (*a*) və yerli (eninə) (*b*) üzrə bölünmə sxemləri

8.2.2. Şəbəkələrin stasionar və ya avtomatik bölünməsi

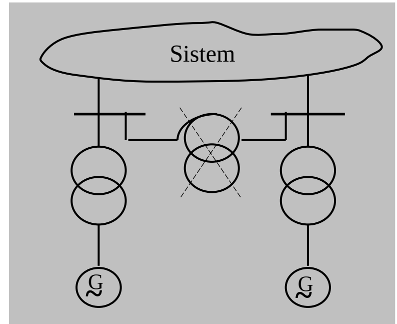
Şəbəkələrin inkişafı zamanı QQ cərəyanlarının səviyyəsinin məhdudlaşdırılması tələb olunduqda istismar prosesində onun bölünməsi həyata keçirilir. Şəbəkələrin bölünməsi iki yerə stasionar (ŞSB) və avtomatik bölünmələrə (ŞAB) ayrılır.

ŞSB normal rejimdə seksiyalararası, şinlərarası və ya xətt açarları vasitəsilə həyata keçirilir. O, şəbəkənin qövşağında QQ cərəyanının səviyyəsi şəbəkədə quraşdırılmış avadanlığın parametrləri üçün buraxılabilən həddən çox olduqda yerinə yetirilir. Şəbəkənin bölünməsinə misal kimi, iki yüksəldici paylayıcı qurğusu olan stansiya şəkil 8.3 –də göstərilib. Bölünmə iki yüksək gərginlikli paylayıcı qurğu arasında olan transformator əlaqəsininnin qırılması ilə yerinə yetirilir. ŞSB elektrik sisteminin rejiminə dayanıqlığına

və etibarlı işləməsinə, həmçinin şəbəkədə güc itkisinə əhəmiyyətli dərəcədə təsir edir.

ŞAB qəza rejimində kommutasiya aparatlarının normal işinin təmin olunması üçün yerinə yetirilir. O, seksiya və ya şinlərarası açarlarla, bəzən isə böyük güclü birləşmələrin açarları ilə həyata keçirilir. ŞAB zamanı QQ cərəyanlarının kaskad şəkilli açma sistemi yaranı, lakin nəzərə almaq lazımdır ki, ŞAB –ın növbəti çatışmayan cəhətləri mövcuddur:

1) qəzadan sonrakı rejimlərdə şəbəkələrin bölünmüşhissələrində mənbələrin və yüklərin güclərində kifayət qədər qeyri – balansın yaranmasının mümkünlüyü;



Şəkil 8.3 Şəbəkənin stasionar bölünməsi

2) normal rejimin bərpa olunma müddətinin artması.

Bunlara axmayaraq, ŞAB–dan istifadə ucuz, sadə və etibarlı olduğuna görə onlardan enerjisistemdə geniş istifadə olunur.

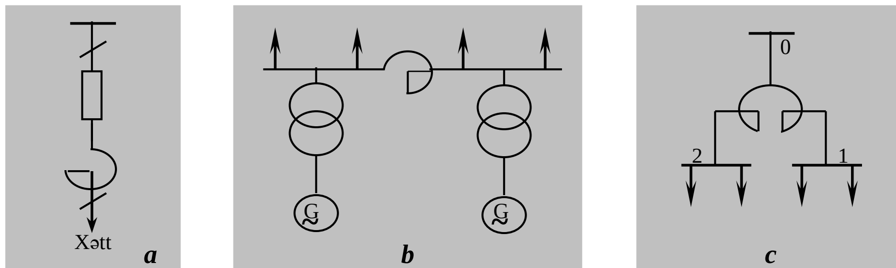
8.2.3. Cərəyanməhdudlaşdırıcı qurğular

Cərəyanməhdudlaşdırıcı qurğular özlərinin əsas məsələlərini – QQ cərəyanının məhdudlaşdırılmasını yerinə yetirərkən şəbəkənin normal iş rejiminə tutarlı dərəcədə təsir etməməlidir, rejimin sxemi və parametrləri dəyişdirilən zaman stabil xarakteristikaya malik olmalıdırlar.

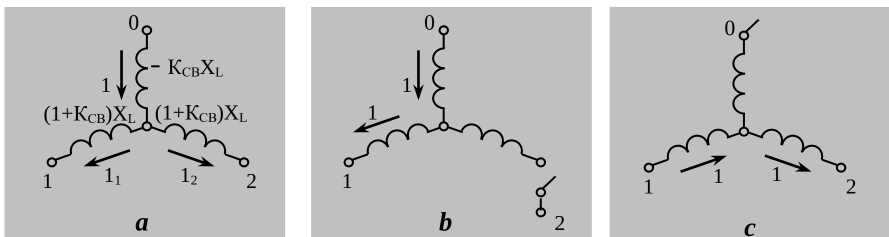
Cərəyanməhdudlaşdırıcı reaktorlar müxtəlif konstruktiv icraya və parametrlərə malik ola bilər.

Müvafiq xəttə ardıcıl qoşulan *xətti xarakteristikalı reaktorlar* qoşulduqları qovşaqda QQ cərəyanlarını məhdudlaşdırır və qalıq gərginliyinin nisbətən yüksək səviyyəsini saxlayır. Lakin normal rejimdə onlarda aktiv və reaktiv güc itir, həmçinin gərginlik itkisi və düşgüsü baş verir. Reaktorun müqaviməti (2.30) formulası ilə təyin olunur. Xətt və seksiya reaktorlarının qoşulmasının mümkün olan sxemləri şəkil 8.4 –də verilib.

Gərginlik və reaktiv güc itkiləri baxımından ikiləşmiş reaktorlar daha əlverişlidir. Normal rejimdə reaktorun budaqları arasında maqnit əlaqəsi cərəyanməhdudlaşdırma qabiliyyətini azaltmadan onda gərginlik itkisini azaldır. İkiləşmiş reaktorların əvəz sxemi şəkil 8.5 –də göstərilib.



Şəkil 8.4. Reaktorların xətti (*a*), seksiyalı (*b*) və ikiləşmiş (*c*) qoşulma sxemləri



Şəkil 8.5. İkidövrəli (*a*), birdövrəli (*b*) və uzununa (*c*) iş rejimləri üçün ikiləşmiş reaktorun əvəz sxemləri

İkiləşmiş reaktorların ikidövrəli (keçid), birdövrəli və uzununa rejimləri mövcuddur; uzununa və birdövrəli rejimlərin birləşdirilməsi mümkündür. Bu rejimlərdə yekun müqavimətlər aşağıdakı kimi təyin olunurlar:

$$x_{1-döv} = x_L,$$

$$x_{2-döv} = x_{keç} = \frac{1}{2}(1 - K_{el})x_L \qquad I_1 = I_2 \text{ olduqda,}$$

$$x_{uzun} = 2(1 + K_{el})x_L,$$

burada K_{el} – budaqlar arasında qarşılıqlı induksiyanı nəzərə alan rabitə əmsalıdır (kataloq məlumatları ilə verilir). Ikiləşmiş reaktorların K_{el} –nin qiyməti 1 budağında QQ zamanı açılmış budaqda gərginliyin buraxıla bilən səviyyəsi ilə məhdudlaşdırılır (şəkil 8.5,*b* –də 2 budağı) və 0,4 – 0,6 həddindədir.

Qeri – xəttli xarakteristikalı reaktorlar. Bu qrupa idarəolunan və doydurulan reaktorlar aiddir.

İ d a r ə o l u n a n   r e a k t o r – bu poladla tənzimlənən reaktordur və onun müqavimətinin dəyişdirilməsi sabit cərəyanın sahəsi ilə maqnitkeçiricinin əlavə maqnitləndirilməs ilə həyata keçirilir. Normal rejimdə reaktorun müqaviməti əlavə maqnitləndirmənin hesabına azalır. Reaktorun müqavimətinin normal rejimdə olan müqavimətə nisbətən azalma dərəcəsi (dəyişən cərəyan dolağında nominal cərəyan və sabit cərəyan dolağında müvafiq əlavə maqnitləndirmə cərəyanı zamanı) tənzimləmə əmsalı olan $K_{tən}$ ilə xarakterizə olunur. QQ zamanı reaktorun müqaviməti artır və onun artım dərəcəsi cərəyanməhdudlaşdırma əmsalı K_C ilə xarakterizə olunur. İstismarda olan tənzimlənən reaktorlarda $K_{ten} \cong 8-10$ və $K_C \cong 4-7$ həddindədir.

D o y d u r u l a n   r e a k t o r – bu qeyri – xətti xarakteristikalı (poladla) idarəolunmayan reaktordur, hansı ki, dəyişən cərəyan dolağının maqnitkeçiricisinin doyması ilə təyin olunur. Reaktorun ekvivalent müqaviməti cərəyanın artması ilə artır; reaktorun bu xüsusiyyəti QQ cərəyanının məhdudlaşdırılması üçün istifadə olunur.

Cərəyanməhdudlaşdırıcı kommutasiya aparatı QQ –nın zərbə cərəyanını azaldır yəni ətalətsiz təsir edən aparatdır. Bunlara cərəyanməhdudlaşdırıcı qoruyucular və partlayış təsirli zərbə cərəyanının məhdudlaşdırıcısı aiddir.

C ə r ə y a n m ə h d u d l a ş d ı r ı c ı   q o r u y u c u l a r 3…35 kV gərginliyə hazırlanırlar. Onlar konstruksiyalarının sadəliyi və qiymətinin kiçik olması ilə fərqlənirlər, bununla bərabər bir sıra çatışmayan cəhətlərə malikdirlər. Bu çatışmazlıqlar aşağıdakılardır:

– birdəfəli təsir (işləmə), bu isə avtomatik təkrar qoşmadan (ATQ –dən) istifadəni çətinləşdirir;

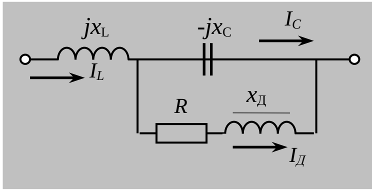
– cərəyan – zaman xarakteristikasının stabil olmaması;

– xarici qurğu tərəfdən idarəolunmamaq (rele mühafizəsi və s.), ona görə də qoruyucuları az məsuliyyətli istehlakçıların dövrələrində quraşdırırlar.

P a r t l a y ı ş   t ə s i r l i   z ə r b ə   c ə r ə y a n ı n ı n   m ə h d u d l a ş d ı r ı l m a s ı – birdəfəli təsirli ifrat yüksək təsirli idarəolunan kommutasiya aparatıdır. Konstruktiv cəhətdən – bu hermetik silindirdir, içərisində cərəyan daşıyıcı keçirici yerləşir ki, ona pirapatron quraşdırılır.

Pirapatronun partlanmasına siqnal xarici idarəedici qurğudan verilir. Bu QQ haqqında informasiyanı QQ cərəyanın qiymətini və onun törəməsini fokuslaşdıran ölçmə orqanından alır. Cərəyanın məhdudlaşdırılmasına təqribən 0,5 msan müddətində nail olunur, dövrənin tam açılma müddəti təqribən 5 msan, yəni sənaye tezliyi periodunun 1/4 –ni təşkil edir.

Rezonans prinsipli cərəyanməhdudlaşdırıcı qurğular. Onların iş prinsipi normal rejimdə işləməsi zamanı gərginliklər rezonansı effektindən istifadəyə və qəza rejimində rezonansın pozulmasına əsaslanıb. Hal– hazırda bu qurğuların 100 –dən artıq variantı və onların modifik siyası təklif olunub.



Şəkil 8.6. Rezonans prinsipli cərəyan–məhdudlaşdırıcı qurğunun sxemi

Rezonans prinsipli cərəyanməhdud–laşdırıcı reaktorların iş prinsipinə şəkil 8.6 –da göstərilən bir qeyri –xətti elementi olan sxemin misalında baxaq.

Konturun giriş müqaviməti aşağıdakı kimi təyin olunur:

$$Z_{C.q} = jx_L + \frac{-jx_C(R + jx_d)}{-jx_C + R + jx_d} = \frac{(x_C x_L + x_C x_d - x_L x_d) + jR(x_L - x_C)}{R + j(x_d - x_C)} =$$
$$= R_{ekv} + j(x_d - x_{ekv}),$$

burada R_{ekv}, x_{ekv} – baxılan konturun ekvivalent giriş müqavimətləridir və aşağıdakı kimi təyin olunurlar:

$$x_{ekv} = \frac{x_C(x_d^2 - x_C x_d - R^2)}{R^2 + (x_d - x_C)^2}.$$

Ayrı – ayrı elementlərin parametrləri QQ cərəyanının arzu olunan dəfəlilik həddinin nominal cərəyana nisbətindən asılı olaraq seçilir.

Bundanəlavə diqər cərəyanməhdudlaşdırıcı qurğular da məlumdur.

– transformator və reaktor – ventil tipli cərəyanməhdudlaşdırıcı qurğular;
– sabit cərəyan tıxacları;
– ifratkeçiricili cərəyanməhdudlaşdırıcı qurğular.

Bu qurğuların iş prinsipi [3] –də verilib.

8.2.4. Alçaq gərginlik dolağının en kəsiyi bölünmüş transformatorlar

Alçaq gərginlik şəbəkələrdə QQ cərəyanını azaltmaq üçün alçaq gərginlik dolağının en kəsiyi bölünmüş transformator və avtotransformatorlardan istifadə olunur. Belə transformatorlar sənaye müəssisələrinin yarımstansiyalarında, böyük güclü elektrik stansiyalarının xüsusi sərfiyyat sistemində alçaldıcı kimi istifadə

olunur. Alçaq gərginlik dolağının en kəsiyi bölünmüş yüksəldici transformatorlar elektrik stansiyalarının vahid gücü böyük olan enerji bloklarında istifadə olunur. Alçaq gərginlik dolağının en kəsiyi iki yerə bölünmüş transformatorun xarakterik parametrləri aşağıdakılardır (şəkil 5.9, *e* –yə bax):

– en kəsiyi bölünmüş dolağın çıxışları arasındakı müqavimətə bərabər olan en kəsiyin bölünmə müqaviməti $x_{e.böl}$ aşağıdakı kimi təyin olunur:

$$x_{e.böl} = x_{a\ell 1 - a\ell 2};$$

– yüksək gərginlik dolağının çıxışı ilə alçaq gərginlik (AG) dolağının en kəsiyi bölünmüş ümumi çıxışı arasındakı müqavimətə bərabər olan keçid müqavimət – $x_{keç}$:

$$x_{keç} = x_{y-a\ell};$$

– en kəsiyinin bölünmə müqavimətinin keçid müqavimətinə nisbəti en kəsiyin bölünmə əmsalı – $K_{e.böl}$ adlanır və aşağıdakı formula ilə təyin olunur:

$$K_{e.böl} = x_{e.böl} / x_{keç};$$

– en kəsiyi *m* hissəyə bölünmüş dolağın hər bir bölünmüş dolağın nominal gücü, aşağıdakı formula ilə təyin olunur:

$$S_{nom.m} = S_{nom} / m,$$

burada S_{nom} – transformatorun nominal gücüdür.

Transformatorun nominal gücünə gətirilmiş əvəz sxeminin (şəkil 5.9, *e* –yə bax) parametrləri aşağıdakı kimi təyin olunur

$$x_{a\ell 1} = x_{a\ell 2} = x_{e.böl} / 2 = x_{keç}\, K_{e.böl} / 2 = x_{y-a\ell} K_{e.böl} / 2,$$
$$x_{y} = x_{y-a\ell} - x_{a\ell 1} // x_{a\ell 2} = x_{keç} - x_{e.böl} / 4 = x_{y-a\ell}\left(1 - K_{e.böl} / 4\right).$$

x_y – YG dolağının, x_{al} – AG dolağının reaktiv müqavimətləridir.

8.3. ELEKTRİK ŞƏBƏKƏLƏRİNDƏ NEYTRALIN YERLƏ BİRLƏŞDİRİLMƏSİNİN OPTİMALLAŞDIRILMASI

Qısaqapanma cərəyanlarının səviyyəsinə xeyli təsir edən amillərdən biri QQ nöqtəsinə nisbətən şəbəkənin sıfır ardıcıllıqlı ekvivalent müqaviməti $x_{0\Sigma}$ –dir. Bu müqavimətin artması yerlə qeyri – simmetrik QQ cərəyanlarının azalmasına səbəb olur. Praktikada şəbəkənin bəzi budaqlanmalarının müqavimətin süni şəkildə artırılmasından istifadə olunur. Bu üsul $x_{0\Sigma}$ –ə əhəmiyyətli dərəcədə təsir edir. Transformatorların və avtotransformatorların neytralının yerləbirləşdirilmə dövrəsi belə budaqlanmalardandır. Transformatorların neytralının yerləbirləşdirilmə üsulunun dəyişdirilməsi müvafiq şəbəkənin yerləbirləşdirilmə rejiminin dəyişməsinə səbəb olur ki, bu da kommutasiya və atmosfer ifrat gərginliyi zamanı transformatorların izolyasiyasının işləmə şəraitini dəyişdirir. Bu səbəbdən neytralın yerləbirləşmə rejiminin dəyişdirilməsinin mümkünlüyü bir neçə şərtlərlə məhdudlaşır.

1. 330 kV və ondan yüksək gərginlikli güc transformatorları neytralı yerdən izalə olunmuş şəkildə işləyə bilməzlər. 110, 150 və 220 kV –luq güc transfomatorlarının neytralının izalyasiyasının bir dəqiqəlik sınaq gərginliyi müvafiq olaraq 100, 130 və 220kV təşkil edir. Bu qiymətlər yerlə QQ rejimində müvafiq transformatorların neytralında hesabat hədd gərginliyi kimi qəbul oluna bilərlər.
2. Gərginliyi 110 kV və ondan yüksək olan şəbəkələr yerlə effektiv birləşdirilməlidirlər, yəni elə birləşdirilməlidirlər ki, istənilən nöqtədə yerlə QQ zamanı zədələnməmiş fazalarda gərginlik şəbəkənin xətt gərginliyinin (1.4$U_{f.nom}$) 80% –dən çox olmasın. Bu şərt şəbəkədə 80% –lı boşaldıcıların quraşdırılması ilə əlaqədardır.
3. Açarların iş şəraiti üzrə arzu olunnan odur ki, şəbəkənin istənilən nöqtəsində yerlə birfazalı və ikifazalı QQ cərəyanı həmin nüqtədəki üçfazalı QQ cərəyanından çox olmasın. Bu tələb əgər, $x_{0\Sigma} / x_{1\Sigma} \geq 1$ olarsa ödənilir. Bu səbəbdən transformatorların neytralının rejimi ilə müəyyən olunan gərginliyi 110kV və ondan yüksək olan şəbəkələrin neytralının rejimini seçən zaman aşağıda verilən şərtlər yerinə yetirilməlidir:

1) $I_{\text{k}}^{(1)} / I_k^{(3)} \leq 1, \quad I_{\text{k}}^{(1.1)} / I_k^{(3)} \leq 1;$

2) $K_y = U_{f.y} / U_{nom} \leq 0.8$, burada K_y –şəbəkənin yerləbirləşmə əmsalıdır;

3) $U_{n.T} < U_{\text{n.Tyolver}}$, burada $U_{\text{n.Tyolver}}$ – transformatorun neytralında yol verilən gərginlikdir;

4) $U_{\text{n.T imp}} < U_{\text{n.T imp.yolver}}$ – burada $U_{\text{n.T imp.yolver}}$ – şəbəkədə QQ zamanı transformatorun neytralında yol verilən impuls gərginliyidir.

Qısaqapanma cərəyanının məhdudlaşdırılması üçün yuxarıda göstərilən şərtlərdən ən sadəsi şəbəkə transformatorların bir neçəsinin neytralının yerdən izalə olunmasıdır. QQ cərəyanlarının məhdudlaşdırılmasına güc transformatorlarının neytralına reaktorlar və rezistorlar qoşmaqla da nail olmaq olar.

Reaktorlar eyni müqavimətə malik rezistorlara nisbətən QQ cərəyanını daha effektiv məhdudlaşdırır. Cərəyanın eyni məhdudlaşdırma səviyyəsində transformatorun neytralında gərginlik rezistordan istifadə olunan hallarda kiçik olur nəinki, reaktordan istifadə olunduqda. Lakin rezistordan istifadə QQ cərəyanının aperiodik mürəkkəbəsinin daha tez sönməsinə nail olmağa imkan yaradır.

8.4. ELEKTRİK AVADANLIQLARININ PARAMETRLƏRİNİN VƏ QQ CƏRƏYANLARININ KOORDİNASİYASI

Koordinasiya – enerjisistemin elektrik avadanlıqlarının parametrlərinin və QQ cərəyanlarının səviyyəsinin bir – biri ilə uyğunlaşdırılmasdır. Koordinasiyanın zəruriliyi aşağıdakı hallarda baş verir:

– enerjisistemin perspektiv inkişafının planlaşdırılması zamanı;
– elektrik qurğularının (yarımstansiyaların, elektrik verilişi xətlərinin və s.) layihələndirilməsi zamanı;
– enerjisistemin istismarı zamanı;
– hazırlanacaq elektrik avadanlıqlarını işləyərkən lazım olan texniki tələblərin təyin olunması mərhələsində.

P e r s p e k t i v p l a n l a ş d ı r m a zamanı koordinasiyanın məqsədi enerjisistemin və elektrik avadanlığının parametrlərinin dəyişmə dinamikasını nəzərə alaraq şəbəkənin optimal strukturunun və parametrlərinin seçilməsidir. Bu zaman QQ cərəyanlarının səviyyəsinin koordinasiyası üçün aşağıdakılardan istifadə olunur:

– sxem həlləri;
– reaktorlar, dolağının en kəsiyi bölünmüş transformatorlar, cərəyanməhdudlaşdırıcı qurğular;
– yeni tipli ifratcəldtəsirli kommutasiya aparatları;
– paylaycı qurğularda avtotransformatorlu əlaqədən imtina etmək;
– elektrik şəbəkələrinin neytralının rejiminin optimallaşdırılması.

E l e k t r i k q u r ğ u l a r ı n ı n l a y i h ə l ə n d i r i l m ə s i zamanı koordinasiyanın məqsədi onun optimal sxeminin və enerjisistemin qovşaq yarımstansiyaları ilə əlaqənin seçilməsindən ibarətdir. Bu zaman elektrik avadanlığının mümkün olan parametrləri, rejimə görə məhudiyyətlər, elektrik

qurğularının dayanıqlığına və etibarlığına olan tələblər nəzərə alınmalıdır. QQ cərəyanlarının səviyyəsinin koordinasiyası üçün burada elektrik qurğusunun konkret parametrləri nəzərə alınmaqla yuxarıda göstərilən üsullardan istifadə olunur.

E n e r j i s i s t m i n i s t i s m a r ı zamanı elektik avadanlıqlarının parametrləri və QQ cərəyanlarının səviyyəsinin koordinasiyası sxemin, iş rejiminin, əsas elementlərin və elektik avadanlıqlarının parametrlərini operativ dəyişdirilməsi ilə həyata keçirilir. İstismar zamanı QQ cərəyanlarının səviyyəsinin koordinasiyası üçün aşağıdakılardan isifadə olunur:

– daha yüksək parametrlərin alınması məqsədilə avadanlıqların madernizasiyası;
– şəbəkının seksiya, şinlərarası və ya xətt açarları ilə stasionar bölünməsi;
– şəbəkənin avtomatik bölnməsi;
– bəzi transformatorların neytrallarını izalə olunması;
– bəzi transformatorların neytrallarının reaktor və ya rezistor vasitəsilə yerlə birləşdirilməsi;
– müxtəlif növ cərəyanməhdudlaşdırıcı qurğuların tətbiqi;
– cərəyanməhdudlaşdırıcı reaktorlardan və ya AG dolağının en kəsiyi bölünmüş transformatorlardan.

Praktikada QQ cərəyanlarının məhdudlaşdırılması üçün yuxarıda göstərilən üsullardan biri və ya eyni zamanda bir neçəsi tətbiq oluna bilər.

E l e k t r i k a v a d a n l ı ğ ı n a t e x n i k i t ə l ə b l ə r i n t ə y i n o l u n m a s ı və onun işlənməsinə tapşırığın tərtib olunması enerjisistemin elektrik hissəsinin inkişafı sahəsində texniki siyasət nöqteyi – nəzərindən çox böyük əhəmiyyəti malikdir.

Qısaqapanma cərəyanlarının səviyyəsinin elmi əsaslandırılmış koordinasiyası üçün elektrik avadanlıqlarının və enerjisistemin parametrlərinin zamana görə dəyişmə dinamikası haqqında informasiyanın olması zəruridir.

YOXLAMA SUALLARI

1. Elektrik şəbəkələrində QQ cərəyanlarının səviyyəsinin artmasının səbəblərini söyləyin.
2. QQ cərəyanlarının məhdudlaşdırılması üçün hansı vasitələr və həllərdən istifadə olunur?
3. Elektrik şəbəkələrində neytralların yerləbirləşdirilmə rejiminin optimallaşdırılması nədən ibarətdir?
4. Elektrik avadanlıqlarının parametrlərinin və QQ cərəyanlarının səviyyəsinin koordinasiyası nə deməkdir?
5. Elektrik sisteminin inkişafı prosesində QQ cərəyanlarının səviyyəsinin dəyişmə tendensiyası necədir?

H İ S S Ə 2

ELEKTRİK SİSTEMLƏRİNİN DAYANIQLIĞI

F ə s i l 9

STATİK DAYANIQLIQ

9.1. DAYANIQLIĞIN ƏSAS ANLAYIŞLARI VƏ TƏRİFLƏRİ

Elektrik sisteminin rejimlərinin qərarlaşmış və keçid rejimlərinə bölünməsi şərti olaraq qəbul olunmuşdur. Real sistemin qərarlaşmış rejimində onun parametrləri aşağıda göstərilən amillərlə əlaqədar olaraq daima dəyişir:

– yükün dəyişməsi və tənzimləyici qurğuların bu dəyişmələrə reaksiyası ilə;
– sistemin kommutasiya sxeminin normal istismar dəyişmələri ilə;
– ayrılıqda generatorların qoşulması və açılması və ya onların güclərinin dəyişdirilməsi ilə.

Beləliklə, sistemin qərarlaşmış rejimində hər hər zaman onun rejim parametrlərində kiçik həyacanlanmalar mövcuddur ki, həmin həyacanlanmalarda o dayanıqlı olmalıdır.

Statik dayanıqlıq – bu kiçik həyacanlanmalardan sonra sistemin ilkin (və ya ilkinə yaxın) rejimi bərpa etmə qabiliyyətidir.

Elektrik sistemində qəza rejimi QQ, yük altında olan aqreqatların və ya xətlərin və s. qəza açılmaları zamanı baş verir. Böyük həyacanlanmaların təsiri altında rejimdə kəskin dəyişikliklər yaranır.

Dinamik dayanıqlıq – bu böyük həyacanlanmalardan sonra sistemin ilkin (və ya ilkinə yaxın) vəziyyətə qayıtma qabiliyyətidir. Böyük həyacanlanmalardan sonra sistemin sinxron rejimi pozulduğu və yol verilən fasilədən sonra bərpa olunduğu halda sistemin *yekün dayanıqlığı* haqqında danışırlar. Yekün dayanıqlığı bəzən dinamik dayanıqlığın variantı (dəyişmiş forması) hesab edirlər və onu *sinxron və yekun dinamik dayanıqlıqlara* bölürlər.

Sistemin statik dayanıqlığının tərəfinə görə belə demək olar, elə bir rejim vardır ki, həmin rejimdə yükün kiçik artımı onun dayanıqlığının pozulmasına səbəb olur. Belə rejim statik dayanıqlığın *şərtlərnə görə son hədd rejimi,* sistemin yükü isə *maksimal və ya son hədd yükü* adlandırırlar.

Yük məhdudiyyəti digər səbəblər nəticəsində də, məsələn elektrik sisteminin elementlərinin (qeneratorların, transformatorların və s.) qızması səbəbindən baş verə bilər. Bu halda qızma şərtinə görə son hədd yükündən danışılır və rejimin mövcud olmasının maksimum müddəti təyin olunur.

Yükün məhdudlaşdırılması qovşaqda gərginliyin səviyyəsi, tac gərginliyi və s. üzrə mümkündür.

Sistemin elementinin *yük buraxma qabiliyyəti* bütün məhdudlaşdırıcı amillər (qızma, dayanıqlıq, qovşaqda gərginlik və s.) nəzərə alınaraq həmin element vasitəsilə ötürülən ən böyük gücə deyilir. Bəzi hallarda buraxma qabiliyyətini bir amil üzrə təyin edirlər və məsələn, qızmaya görə buraxma qabiliyyəti haqqında deyirlər.

Yek buraxma qabiliyyəti haqqında anlayışlar dinamik dayanıqlıq üçün də doğrudur. Bu halda istənilən nöqtədə QQ, xəttin açılması və s. zamanı dinamik dayanıqlıq şərtlərinə görə *ötürülə biləcək gücün son həddi* başa düşülür.

Dayanıqlığın analizi zamanı yaranan məsələlər olduqca mürəkkəbdir və böyük həcimlidir. Ona görə də baxılan hadisənin fiziki mahiyyətini başa düşmək üçün həll olunan məsələnin sadələşdirilməsinə müraciət edirlər. Bəzən həllin riyazi ciddiliyindən imtina etmək, ikinci dərəcəli amilləri atmaq lazım gəlir. O haldz detallar əks olunmur lakin hadisənin kifayət qədər tam təsviri alınır. Həllərin sadələşdirilmə üsullarından biri – elektrik sisteminə bir pozisiya kimi baxmaqdır.

Pozisiyalı sistem – elə sistemdir ki, burada rejimin parametrləri cari vəziyyətdən, qarşılıqlı yerləşmədən, məsələn, generatorların və mühərriklərin rotorlarının vəziyyətindən asılıdır. Bu halda cari vəziyyətin necə alınması əhəmiyyət kəsb etmir. Bu zaman sistemin elementinin real dinamik xarakteristikası statik xarakteristikası ilə əvəz olunur.

Statik xarakteristikalar – sistemin rejiminin analitik və qrafiki şəkildə zamandan asılı olmayaraq təqdim olunmuş parametrləri arasında əlaqəsidir. Bu əlaqə əsasən sistemin qərarlaşmış rejimində aşkar olunur.

Dinamik xarakteristikalar – sistemin rejiminin zamandan asılı olaraq təqdim olunmuş parametrləri arasında əlaqəsidir. Bu halda xarakteristikaya baxılan parametrlərin birinci, mümkündür daha yüksək törəməsinin təsiri əks olunur.

Pozisiylı sisteminin təsviri üçün statik xarakteristika kifayətdir. Dinamik xarakteristikalar elektrik sistemini dinamik sistem kimi tədqiq edilməsinə imkan verir.

Bir rejimdən digərinə dinamik keçid keyfiyyətcə qiymətləndirməyə məruz qalır. Bu zaman keçid prosesinin keçmə xarakteri (sürətli, yavaş, monoton, aperiodik) və yeni qərarlaşmış rejimin xarakteri qiymətləndirilir. Əgər keçid prosesinin tez sönməsi, aperiodikliyi yaxud monotonluğu müşahidə olunarsa o keyfiyyətcə yaxşı hesab olunur. Keçid prosesindən sonra gələn rejimin kifayət qədər d a y a n ı q l ı q e h t i y a t ı olmalıdır. Bu hər hansı parametrin dəyişdirilməsi ilə yoxlanılır. Sistemin öz dayanıqlığını saxlaya bildiyi meyletmənin ən böyük qiyməti dayanıqlığın ehtiyatını müəyyən edir və dayanıqlıq əmsalı ilə ifadə olunur. Məsələn gərginliyə görə ehtiyat aşağıdakı formula ilə hesablanır

$$K_U = \frac{U_0 - U_{kr}}{U_0},$$

gücə görə ehtiyyat növbəti formula ilə hesablanır

$$K_P = \frac{P_{max} - P_0}{P_0}.$$

Yeni qərarlaşmış rejim qəbul olunmuş keyfiyyət kriteriyası ilə qiymətləndirilə bilər.

9.2. DAYANIQLIĞIN ANALİZİ ZAMANI QƏBUL EDİLƏN SADƏLƏŞDİRİLMƏLƏR

Elektromaqnit keçid proseslərinin analizi zamanı qəbul edilən sadələşmələrə əlavə olaraq dayanıqlığın qiymətləndirilməsini sadələşdirən və mühəndis hesabatlarının dəqiqliyini kifayət qədər təmin edən daha bir neçə sadələşdirmələr qəbul olunur.

1. Fərz olunur ki, elektromaqnit keçid prosesinin gedişi zamanı sinxron maşınların rotorlarının fırlanma sürəti kiçik həddə, sinxron sürətin 2...3 % həddində dəyişir.
2. Hesab olunur ki, generatorun statorunun və rotorunun gərginliyi və cərəyanı ani olaraq dəyişir.
3. Sistemin parametrlərinin qeyri – xəttiliyi adətən nəzərə alınmır. Rejim parametrlərinin qeyri – xəttiliyi isə əksinə, nəzərə alınır. Bundan imtina olunan hallarda, o xüsusi qeyd olunur və bu zaman sistem x ə t t i l ə ş m i ş adlanır.
4. Elektrik sisteminin bir rejimindən digərinə keçmək sxemin məxsusi və qarşılıqlı müqavimətlərini, həmçinin generatorların və mühərriklərin EHQ –lərini dəyişməklə mümkündür.
5. Qeyri – simmetrik həyəcanlanmalar zamanı dinamik dayanıqlığın tədqiqi düz ardıcıllıq sxemində yerinə yetirilir. Hesab olunur ki, generatorların və mühərriklərin rotorlarının hərəkəti düz ardıcıllıq cərəyanının yaratdığı momentlə əlaqədardır.

9.3. ELEKTRİK SİSTEMİNİN DAYANIQLIĞININ HESABLANMASI MƏSƏLƏLƏRİ

Statik dayanıqlığın analizi zamanı bir sıra məsələlər ortaya çıxır ki, onlar layihə və istismar təşkilatlarında həll olunur. Belə məsələlərə aşağıdakılar aiddir:

1. Son hədd rejimlərinin parametrlərinin (enerjisistemin xətləri ilə ötürülən gücün son həddi, sistemin düyün nöqtələrində yükü qidalandıran kritik gərginlik və s.) hesablanması.
2. Ehtiyat əmsalının qiymətinin təyini. Gərginlik və gücə görə ehtiyyat əmsallarının 9.1 bölməsində verilən formulaları ilə birlikdə ehtiyat əmsalı TAT qurğusunun köklənmə parametrlərinə görə hesablana bilər:

$$S_K = \frac{K_{max} - K_{min}}{K_{max} + K_{min}},$$

burada K_{max} və K_{min} – statik dayanıqlığın müvafiq sərhəd sahələrinin köklənmə parametrlərinin maksimal və minimal qiymətləridir.
3. Enerjisistemin statik dayanıqlığının yüksəldilməsi və ya ötürmənin verilmiş yükburaxma qabiliyyətinin təmin olunması üzrə tədbirlərin seçilməsi.

4. Sistemin dayanıqlığının yüksəldilməsinə istiqamətlənmiş tələblərin işlənməsi. Gərginliyin saxlanılmasının tələb olunan dəqiqliyini təmin edən TAT–ın köklənməsi seçilir.

Göstərilən məsələlərin həlli sistemin öz – özünə yırğalanmasının baş verməsi mümkünlüyü nəzərə alınmaqla yerinə yetirilir.

Dinamik dayanıqlığın analizi məsələləri sistemin bir qərarlaşmış rejimdən digərinə keçidi ilə əlaqədardır. Bu məsələlər aşağıdakılardır:

a) elektrik sisteminin yüklənmiş elementlərinin istismarı və ya qəza açılmaları zamanı dinamik keçidin parametrlərinin hesabatı.

b)aşağıda göstərilən müxtəlif amillər nəzərə alınmaqla sistemdə QQ zamanı dinamik keçidlərin parametrlərinin təyini:

– bir qeyri – simmetrik QQ –nın digərinə (məs. birfazalının ikifazalıya) keçməsinin mümkünlüyü;

– QQ –dan sonra açılmış elementlərin avtomatik təkrar (ATQ) qoşma avtomatı ilə qoşulması, və s.

Dinamik dayanıqlığın hesabatının nəticələri aşağıdakılardır:

– sistemin ən təhlükəli nöqtəsində QQ –nın hesabat növünün açılmasının son hədd vaxtı;

– elektrik sisteminin müxtəlif elementlərində quraşdırılmış ATQ sisteminin fasilələri;

– ehtiyatın avtomatik qoşulma (EAQ) sisteminin parametrləri.

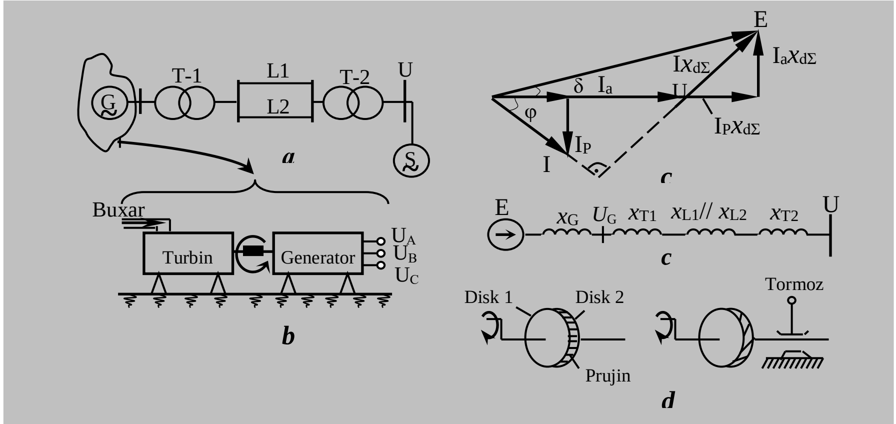
Hesabatlar bir qayda olaraq qeyri – xəttiliyin və vacib dinamik xarakteristikaların nəzərə alınması ilə yerinə yetirilir.

9.4. ELEMENTAR SİSTEMİN STATİK DAYANIQLIĞI

Elementar sistem dedikdə elə sistem başa düşülür ki, burada tək elektrik stansiyası (ekvivalent generator) dəyişməz gərginlikli şin ilə (sistemlə), transformatorla və stansiyadan sistemə gücü ötürən xətlə əlaqəlidir (şəkil 9.1, *a*). Sistemin stansiyalarının ümumi gücünün, baxılan stansiyanın gücündən həddən artıq böyük olduğu qəbul edilir. Bu imkan verir ki, elementar sistemin istənilən iş rejimində sistemin şinlərində gərginliyi dəyişməz (U = const) hesab edək.

Şəkil 9.1, *b* –də istilik elektrik stansiyasının iki əsas aqreqatı: turbin və generator göstərilib. Turbinin rotoru elektrik stansiyasının qazanından (buxar generatorundan) turbinə verilən buxarla fırladılır. Turbinin fırladıcı momenti enerji daşıyıcısının miqdarından asılıdır. Buxar turbini üçün bu – buxar, hidroturbin üçün isə – sudur. Normal istismar rejimində enerjidaşıyıcının əsas parametrləri – buxarın temperaturu və təziqi – sabitdir, ona görə də turbinin fırladıcı momenti sabitdir. Generatorun sistemə verdiyi güc bir neçə parametrlə müəyyən olunur ki, onların da təsiri generatorun güc xarakteristikasından asılıdır.

Güc xarakteristikasını almaq üçün elektrik verilişinin vektor diaqramı qurulmuşdur (şəkil 9.1, *c*). O, şəkil 2.10, *a* –da təsvir olunan diaqramı təkrarlayır. lakin burada cərəyanın tam vektoru onun həqiqi və xəyali mürəkkəbələri ilə əvəz olunub, x_d müqaviməti isə sistemin şəkil 9.1, *ç* –də göstərilən əvəz sxemindən alınan $x_{d\Sigma}$ ilə əvəz olunub:



Şəkil 9.1. Elementar sistemin statik dayanıqlığının qiymətləndirilməsi: *a* – sistemin prinsipial sxemi; *b* – turbin – qenerator bloku; *c* – generatorun vektor diaqramı; *ç* – sistemin əvəz sxemi; *d* – turbin – generator blokunun mexaniki analoqu

$$x_{d\Sigma} = x_d + x_{T1} + x_{L1} / x_{L2} + x_{T2}.$$

Vektor diaqramından görünür ki,

$$I_a x_{d\Sigma} = E \sin \delta,$$

burada I_a – cərəyanın aktiv mürəkkəbəsi, δ – EHQ *E* –nin *U* gərginliyinə nisbətən sürüşmə bucağıdır. Bərabərliyin hər iki tərəfi $U/x_{d\Sigma}$ –ə vursaq, alarıq:

$$UI_a = P = \frac{EU}{x_{d\Sigma}} \sin \delta, \qquad (9.1)$$

burada *P* generatorun verdiyi aktiv gücdür (nisbi vahidlərdə qəbul olunur).

(9.1) asılılığı sinusoidal xarakterlidir və generatorun g ü c x a r a k t e r i s–t i k a s ı adlanır. Generatorun sabit *E* EHQ və *U* gərginliyi olan hallarda generatorun dönmə bucağı ancaq onun aktiv gücü ilə təyin olunur, o da öz növbəsində turbinin gücü ilə təyin olunur. Turbinin gücünün (momentinin) sürüşmə bucağı δ –dan asılılığının əyani şəkili yay vasitəsi ilə birləşdirilmiş iki disk sistemidir (şəkil 9.1, *d*). Yüksüz işləmə (Yİ) rejimində (sürtünmə nəzərə alınmamaqla) hərəkətə gətirici (rotorun sahəsi turbinlə əlaqədardır) və hərəkətə gətirən (statorun sahəsi) disklər bir – birinə nisbətən sürüşmə bucağı yaratmırlar. Tormozlayıcı moment (statorun reaksiyası) yarandığı zaman tormozlayıcı bucaq nə qədər çox olarsa disklər arasındakı sürüşmə bucağı da bir o qədər çox olacaq. Aydındır ki, tormozlayıcı momentin artması zamanı bir diskin digərinə nisbətən tam dairəvi dönməsi baş verə bilər ki, bu baxılan sistemin dayanıqlığının pozulmasıdır.

Turbinin gücü enerjidaşıyıcının miqdarından asılıdır və *P*, δ koordinatlarında düz xətlə təsvir olunur.

Generatorun *E* EHQ –nin və qəbuledici sistemin *U* gərginliyinin müvafiq qiymətlərində güc xarakteristikası maksimum olur və aşağıdakı formula ilə hesablanır:

$$P_{max} = \frac{EU}{x_{d\Sigma}}. \qquad (9.2)$$

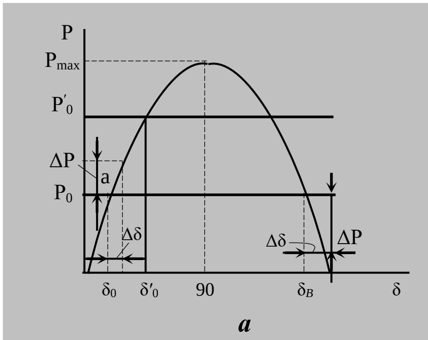
Bəzən bu qiyməti elementar elektrik sisteminin gücünün “ideal” son həddi adlanır. Turbinin gücünün verilmiş qiymətinə *a* və *b* xarakteristikalarının kəsişməsinin iki nöqtəsi uyğundur (şəkil 9.2, *a*). Bu nöqtələrdə generatorun və turbinin gücləri bir – birinə bərabərləşir.

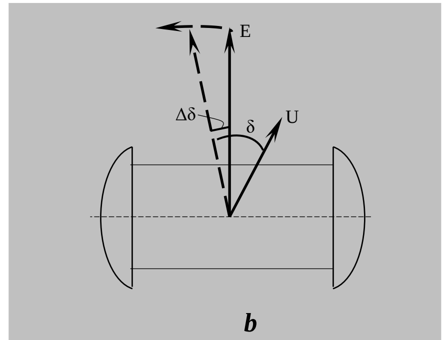
a nöqtəsində iş rejiminə baxaq. Əgər generatorun gücü hər hansı bir səbəbdən ΔP qədər dəyişərsə, o zaman δ bucağı da sinusoidal asılılıqla gedərək Δδ qədər dəyişəcək. Şəkil 9.2, *a* –da görsənir ki, *a* nöqtəsində gücün müsbət artımına bucağın müsbət artımına uyğundur.

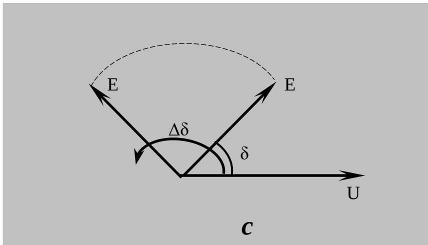
Generatorun gücünün dəyişilməsi zamanı generator və turbin momentlərinin tarazlığı pozulur. Generatorun, onu turbinlə əlaqələndirən valında gücün artması zamanı tormozlayıcı momentin artıqlığı baş verir, çünki generatorun tormozlayıcı momenti turbinin fırladıcı momentindən artıq olur. Tormozlayıcı momentin təsiri altında generatorun rotoru yavaşımağa başlayır. Bu isə rotorun yerləşdirilməsini və onunla əlaqədar olan *E* EHQ –nin vektorunu δ bucağının azalmasına tərəf dəyişdirir (şəkil 9.2, *b*). Qeyd etmək lazımdır ki, nominaldan artıq momentin tısiri altında rotorun yerləşdirilməsi onun hərəkətinin üzərinə müsbət istiqamətdə, sinxron sürətlə əlavə olunur ki, bu sürət yerdəyişmənin sürətindən dəfələrlə yüksəkdir. Nəticədə *a* nöqtəsində ilkin iş rejimi bərpa olunur və statistik dayanıqlığın tərifindən də göründüyü kimi bu rejim dayanıqlır. Belə bir nəticəni *a*

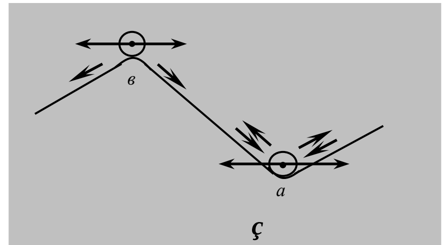
nöqtəsində generatorun gücünün azalması zamanı da almaq olar. *b* nöqtəsində generatorun gücünün mənfi artımına bucağın müsbət artımı uyğundur.

Generatorun gücünün azalması zamanı onun valında sürətləndirici əlavə moment yaradır ki, bu da δ bucağını artırır. Bucağın artması ilə generatorun gücü azalır. Bu sürətləndirici momenti artırır, yəni s i n x r o n i z m d ə n d ü ş m ə adlanan selvari proses baş verir. Nəticədə generatorun sinxronizmdən düşmə prosesi və asinxron rejim *E* EHQ vektorunun qəbuledici sistemin U gərginliyinə nisbətən fasiləsiz yerini dəyişməsi ilə xarakterizə olunur (şəkil 9.2, *c*).









Şəkil 9.2. Elementar sistemin statik dayanıqlığının kriteriyasının təyini üçün: *a* – güc xarakteristikası; *b* – tarazlıq vəziyyətindən EHQ vektorunun meyletməsi; *c* – sinxronizmdən düşmə; *ç* – mexaniki izah (interpretasiya)

Əgər *b* nöqtəsində əlavə tormozlayıcı moment yaranırsa (generatorun gücü artacaq) o, turbin – generator sisteminin işçi nöqtəsinin yerinin *a* nöqtəsinə dəyişdirəcək.

Beləliklə, güc xarakteristikasının *a* nöqtəsi dayanıqlı bərabərlik nöqtəsi, *b* nöqtəsi isə turbin – generator momentlərinin dayanıqsız bərabərlik nöqtəsidir. Odur ki, güc xarakteristikasının yüksələn hissəsində yerləşən bütün nöqtələr sistemin dayanıqlı işləmə nöqtələri, xarakteristikasının azalan hissəsində yerləşən bütün

nöqtələr dayanıqsız işləmə nöqtələrdir. Dayanıqlı və dayanıqsız işləmə zonasının sərhəddi güc xarakteristikasının maksimumudur.

Statik dayanıqlıq nöqtəyi nəzərindən baxılan sistemin mexaniki analoqu şəkil 9.2, *ç* –də göstərilən əyilmiş səhtdə yerləşən kürəcik ola bilər. *a* nöqtəsinin vəziyyəti dayanıqlıdır, çünki kürəciyin istənilən tərəfə sağa yaxud sola yerinin dəyişməsi (kiçik olsa da) onun ilkin vəziyyətə qayıtması ilə qurtarır. Bundan fərqli olaraq *b* nöqtəsinin vəziyyəti dayanıqsızdır, ona görə ki, kürəciyin yerinin kiçicik dəyişməsi də onun yeni vəziyyət alması ilə nəticələnir.

Elektrik sistemini statik dayanıqlığının formal əlaməti güc artımının bucaq artımına işarə olunması ola bilər. Əgər $\Delta P/\Delta\delta > 0$ olarsa, onda sistem dayanıqlı, əgər bu nisbət mənfi olarsa, onda sistem dayanıqsız olur. Son həddə keçərək, elementar sistemin dayanıqlığının kriteriyasını aşağıdakı kimi yazmaq olar:

$$\frac{dP}{d\delta} > 0.$$

Turbinin gücünün qiymətinin P_0 –dan P'_0 –a qədər artırılması (şəkil 9.2, *a*) rotorun dönmə bucağının δ'_0 –a qədər artmasına və statik dayanıqlığın azalmasına gətirib çıxarır. Bu dayanıqlıq aşağıdakı formula ilə təyin olunur:

$$K = \frac{P_{max} - P_0}{P_0}100\%. \qquad (9.3)$$

Stansiyanı enerjisistemin şini ilə əlaqələndirən elektrik verilişinin dayanıqlıq ehtiyatı normal rejimdə 20% –dən və qısa müddətli qəza rejimindən sonra rejimlərdə isə 8 % –dən aşağı olmalıdır.

9.5. GENERATORUN ROTORUNUN HƏRƏKƏT TƏNLİYİ

Generatorun stator dövrəsində kiçik həyacanlanma δ bucağının artma yaxud azalma istiqamətinə rotorun hərəkətini yaradır (bu izafi momentin işarəsindən asılıdır). Həyacanlanma rotora bir qədər α təcilini verir. Bu nisbi vahidlərdə ΔM izafi momentə mütənasibdir və ətalət sabiti T_j –yə tərs mütənasibdir:

$$\alpha = \frac{\Delta M_*}{T_j} = \frac{\Delta P_*}{T_j} \qquad (9.4)$$

Burada qəbul olunur ki, sürətin kiçik dəyişmələrində $\Delta M_* = \Delta P_*$; T_j –yə müqavimət momentinin sabit halında, rotorun sürətinin, nominal izafi momentin təsiri altında sıfırdan nominala qədər dəyişməsinə sərf olunan zamandır. Bu aşağıdakı formula ilə təyin olunur [17]:

$$T_j = \frac{2.74 GD^2 n^2}{1000 S_{nom}}, \text{(san)} \qquad (9.5)$$

burada GD^2 – təkan (max, yerindən tərpətmə) momentidir, $t \cdot m^2$;

n –fırlanma sürətidir, dövr/ dəq;

S_{nom} – generatorun nominal gücüdür, kVA.

(9.5) formulasına qayıdaraq və nəzərə alaraq ki, təcil bucağın zamana görə ikinci dərəcədən törəməsidir, yəni

$$\alpha = \frac{d^2\delta}{dt^2} = \frac{\Delta P}{T_j}, \qquad (9.6)$$

burada

$$\Delta P = P_0 - P_{max} \sin\delta$$

olduğundan alarıq

$$T_j \frac{d^2\delta}{dt^2} = \Delta P - P_{max} \sin\delta, \qquad (9.7)$$

burada P_0 – turbinin gücüdür; P_{max} – qəza rejimi gücünün maksimal qiymətidir.

(9.7) tənliyi generatorun rotorunun hərəkət tənliyi adlanır. Onun $\delta = f(t)$ formasında həlli δ bucağının zamana görə dəyişməsinin təsvirini verir və generatorların dayanıqlığı haqqında fikir söyləməyə imkan verir. (9.7) tənliyi hansı vahidlərdə (δ, t, *P*) ifadə olunmasından asılı olaraq müxtəlif formada yazıla bilər.

9.6. AYDIN QÜTBLÜ GENERATORUN GÜC XARAKTERİSTİKASI

Aydın qütblü sinxron maşınların xüsusiyyətləri 2.1.2 bəndində təsvir olunub, orada həmçinin onun vektor diaqramı verilib. Güc xarakteristikasını almaq

üçün stansiyanın sistemə verdiyi aktiv gücün ifadəsini aşağıdakı şəkildə yazaq (şəkil 2.6 –ya bax):

$$P = UI\cos\varphi = UI\cos(\Psi - \delta) = I\cos\Psi U\cos\delta + I\sin\Psi U\sin\delta. \qquad (9.8)$$

Vektor diaqramından irəli gələn $E_q - I_d x_d = U_q,\ I_q x_q = U_d$ burada $U_q = U\cos\delta;\ I_d = I\sin\Psi;\ U_d = U\sin\delta;\ I_q = I\cos\Psi$ nisbətlərini nəzərə alaraq, yaza bilərik:

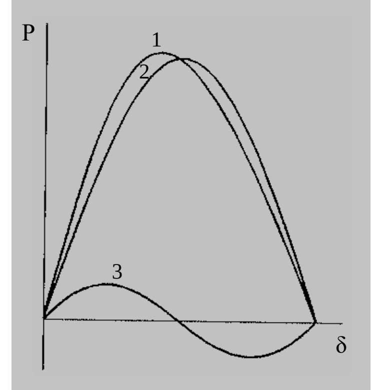
$$P = I_q U\cos\delta + I_d U\sin\delta = \frac{U^2}{x_q}\sin\delta\cos\delta + \frac{E_q U}{x_d}\sin\delta - \frac{U^2}{x_d}\sin\delta\cos\delta.$$

$\sin\delta\cos\delta = 0.5\sin2\delta$ olduğunu nəzərə alaraq, yaza bilərik:

$$P = \frac{E_q U}{x_d}\sin\delta + \frac{U^2}{2}\frac{x_d - x_q}{x_d x_q}\sin 2\delta. \qquad (9.9)$$

Alınan ifadədən görsənir ki, aydın qütblü generatorun xarakteristikasının tərki–bində əsas sinusoidal mürəkkəbələrdən başqa ikiqat tezlikli ikinci mürəkkəbə də vardır . Onun amplitudu x_d və x_q induktiv müqavimətlərinin fərqinə mütənasibdir. İki–qat tezlikli mürəkkəbəsi güc xarakteristika–sının maksimumunu kiçik bucaq tərəfə yerini dəyişdirir (şəkil 9.3).

Güc xarakteristikasının amplitudu qeyri aydın qütblü maşının xarakte–ristikası ilə müqayisədə artır.Lakin bu artım yalnız E_q EHQ –nin kiçik qiymətlərində əhəmiyyətlidir, yəni (9.9) ifadəsinin birinci və ikinci mürəkkəbələri eyni bir dərəcədə olduqda əhəmiyyətlidir. Adi şəraitdə ikinci harmonikanın amplitudu əsas harmonikanın amplitudunun 10 ....15 % –ni təşkil edir və güc xarakteristikasına nəzərə çarpacaq dərəcədə təsir etmir.



Şəkil 9.3. Aydın görünən qütblü maşının güc xarakteristikası:
P(δ) – əyri 1;
$E_q U/x_d \sin\delta$ – əyri 2 ;

$\frac{U^2(x_d - x_q)}{2(x_d x_q)}\sin 2\delta$ – əyri 3

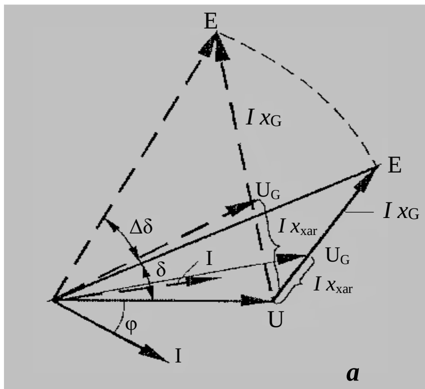
9.7. TAT QURĞUSU OLAN GENERATORUN GÜC XARAKTERİSTİKASI

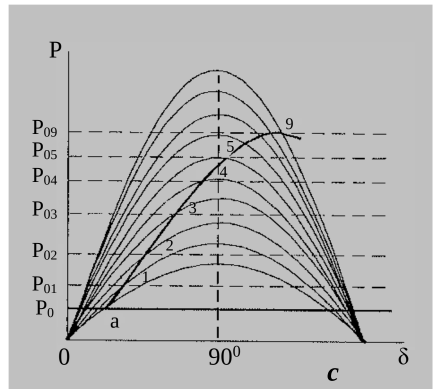
Şəkil 9.1, *a* –da göstərilən elementar sistemin sxeminə baxaq. Fərz edək ki, generatorda gərginliyin tənzimlənmə sistemi yoxdur. Baxılan sistemin vektor diaqramını quraq və onada generatorun şinində $\mathbf{U}_G$ –ni ayıraq (şəkil 9.4, *a*). O, sistemin xarici müqavimətində gərginlik düşgüsündən asılıdır, yəni:

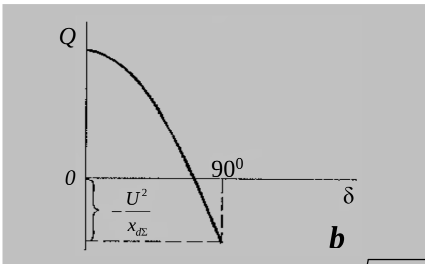
$$\mathbf{U}_G = \mathbf{U} + \mathbf{I}x_{xar},$$

burada x_{xar} – xarici müqavimətdir və transformatorların və xətlərin müqavimətlərinin cəmi ($x_{xar} = x_{T1} + x_{L1} // x_{L2} + x_{T2}$) kimi təyin olunur.

Generatorun şinində gərginlik vektoru gərginlik düşgüsü vektoru $\mathbf{I}x_{d\Sigma}$ –ı iki hissəyə, induktiv müqavimətlərə (x_d və x_{xar}) –ə mütənasib bölür. Verilən aktiv gücü ΔP və bununla bərabər δ bucağını Δδ qədər artıraq. Bu sistemə verilən reaktiv gücün dəyişməsinə səbəb olacaq. Reaktiv gücün δ bucağından asılılığı almaq üçün şəkil 9.1, *c* –də göstərilən vektor diaqramından irəli gələn ifadəni yazaq:







Şəkil 9.4. TAT qurğusu olan generatorun güc xarakteristikasının təyini üçün:
a –vektor diaqramı ;
b – reaktiv gücün xarakteristikası;
c – xarici xarakteristika

$$U_{kr} = \sqrt{2P_0 x_\Sigma} = \sqrt{2\frac{50}{62.5}0.3} = \sqrt{0.48} = 0.693 \approx 0.7.$$

$$\mathbf{U}+\mathbf{I}_{\mathrm{R}}x_{d\Sigma}=\mathbf{E}\cos\delta.$$

Bu ifadənin sağ və sol tərəflərini U –ya vursaq $\mathrm{U}^2+Qx_{d\Sigma}=EU\cos\delta$ alarıq. Buradan Q –nü təyin edərək, generatorun verdiyi reaktiv gücün δ bucağından asılılığı yazaq (şəkil 9.1, *b*):

$$Q=\frac{EU}{x_{d\Sigma}}\cos\delta-\frac{U^2}{x_{d\Sigma}}.$$

Bu ifadəyə şəkil 9.4, *b* –də təsvir olunan əyri uyğun gəlir.

Şəkil 9.4, *a* –da verilən vektor diaqramına qayıdaq. δ bucağının artması reaktiv gücün azalmasına səbəb olacaq, ona görə də cərəyanın $\mathbf{I}_{\mathrm{C}}$ vektoru φ bucağının azalma istiqamətinə tərəf dönəcək. Cərəyan vektorunun yeni vəziyyəti diaqramda qırıq xətlərlə göstərilib (fərz edilir ki, Q gücü işarəsini dəyişib və cərəyan **U** gərginliyini qabaqlayıb). Bu cərəyana **E** EHQ –nin qırıq xətlərlə göstərilən yeni vəziyyəti uyğundur. $x_{\mathrm{d}\Sigma}$ müqavimətində gərginlik düşgüsünü bundan əvvəlki halda olduğu nisbətdə bölərək generatorun şinində gərginliyin yeni qiymətini taparıq.

Diaqramdan görsənir ki, δ bucağının artması generatorun şinində gərginliyi azaldır.

İndi fərz edə ki, generator TAT qurğusu ilə təchiz olunub və o, $\mathrm{U_G}$ gərginliyinə nəzarət edir. Bu gərginliyin azalması zamanı tənzimləyici təsirlənmə cərəyanını, onunla bərabər **E** EHQ –ni gərginliyin əvvəlki qiyməti bərpa olunana qədər artırır.

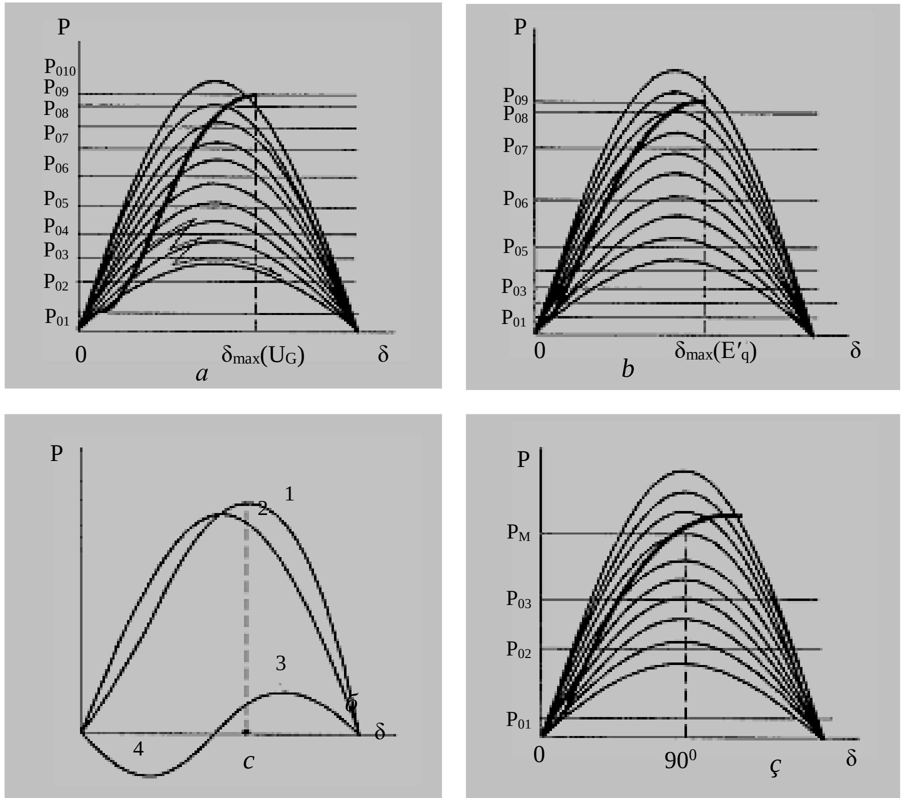
δ bucağının müxtəlif qiymətləri zamanı TAT qurğusu olan generatorun qərarlaşmış iş rejiminə baxarkən əksər hallarda $\mathrm{U_G}$ gərginliyinin sabit olduğu nəzərdə tutulur. Bu zaman δ bucağının artması ilə generatorun EHQ artacaq. Şəkil 9.4, *c* –də EHQ –nin müxtəlif qiymətləri üçün qurulan P = *f*(δ) xarakteristikaların ailəsi göstərilib. Əgər ilkin nöqtə kimi normal rejim nöqtəsi *a* –nı qəbul etsək, $\mathrm{P_0}$ gücü artdıqda (onun artması δ bucağının artması ilə müşayət olunur) qərarlaşmış rejimin yeni nöqtələri vektor diaqramına (şəkil 9.4, *a*) müvafiq olaraq bir xarakteristikadan digərinə keçidlə təyin olunacaqlar. Təsirlənmənin müxtəlif səviyyələrinə uyğun olan qərarlaşmış rejimlərin nöqtələrini öz aralarında birləşdirsək g e n e r a t o r u n x a r i c i x a r a k t e r i s t i k a s ı n ı alarıq. δ bucağının 90^0 –dən çox ($\delta > 90^0$) sahəsində də o artır və bucağın $\delta_{\mathrm{G}} = 90^0$ qiymətində o maksimuma çatır, burada δ_{G} – generatorun şinində $\mathrm{U_G}$ gərginlik

---

* Gücləndirmə əmsalı təsirlənmənin və generatorun gərginliyinin ədədi vahidlərdə nisbəti kimi təyin olunur [17].

vektorunun bucağıdır. Lakin bucağın 90^0 –dən böyük sahəsində işləməyi mümkün olması təsirlənmə tənzimləyicisinin tipindən asılıdır.

P r o p o r s i o n a l t i p l i t ə n z i m l ə y i c i l ə r i n (PTT) gücləndirmə əmsalının* (nisbi) K_{0g} = 50...100 zamanı generatorun şinində gərginliyi təqribən sabit ($\Delta U_G \cong 0$) saxlamağa imkan verir. Lakin belə yüksək gücləndirmə əmsalı TAT qurğusu ilə təchiz olunmuş generatorun maksimal gücündən çox da böyük deyil. Bu onunla əlaqədardır ki, güc xarakteristikasının bəzi nöqtələrində verilən güc artırıldıqda (şəkil 9.5, *a*, nöqtə 3) generatorun öz –



Şəkil 9.5. TAT qurğusu ilə təchiz olunmuş generatorların güc həddinin təyini üçün: *a* – U_G=const; *b,c* – E'_q üçün; *ç* – həssas olmayan zonalı PTT; *c* üçün 1 əyrisi – $P'_{q=const}(\delta)$, 2 əyrisi – $(E'_q U)/x_{d\Sigma} \sin\delta$, 3 əyrisi – $\delta_M(E_q)$, 4 əyrisi – $(u^2/2)(x_d - x'_d)/(x_{d\Sigma} x'_{d\Sigma})\sin 2\delta$

özünə yırğalanması başlyır, yəni rotorun artan amplitudalı periodik rəqsi generatoru sinxronizmdən çıxarır. Ona görə də PTT vasitəsi ilə U_G = const saxlamağa çalışmırlar. Yükün artması ilə onun bir gədər azalmasına yol verilir. Bu halda gücün artırılmasının mümkün olan həddindən (P_{max} –dən) xeyli çox olan P_3 gücünü əldə etmək mümkündür (şəkil 9.5, *b*). Gücləndirmə əmsalının K_{0g} = 20...40 həddində güc xarakteristikasının maksimumu təqribən, generatorun xarakteristikasının E'_q =const olduğu halda alınan maksimuma uyğun olur. Ona görə də *proporsional tipli tənzimləyici ilə təchiz olunmuş generator əvəz sxemində x'_d keçid müqavimətinə qoşulmuş keçid EHQ E'_q kimi göstərilə bilər*.

Əgər fərz etsək ki,

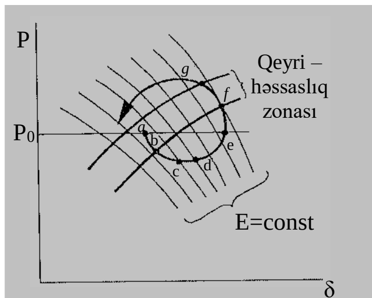
$$I_q = \frac{U\sin\delta}{x_{d\Sigma}}, \quad I_d = \frac{E_q^{/} - U\cos\delta}{x_{d\Sigma}^{/}}.$$

əvəz olunan generatorun (EHQ $E^{/}_q$ olan) güc xarakteristikası eynilə aydın qütblü generatorun xarakteristikası kimi alına bilər. Bu ifadələri (9.8) –də yerinə yazsaq aşağıdakı ifadəni alarıq:

$$P = \frac{E_q^{/}U}{x_{d\Sigma}^{/}}\sin\delta - \frac{U^2}{2}\frac{x_d - x_d^{/}}{x_{d\Sigma}x_{d\Sigma}^{/}}\sin 2\delta. \qquad (9.10)$$

(9.10) ifadəsinə uyğun olan güc xarakteristikası şəkil 9.5, *b* – də göstərilib.

Əgər PTT –nin qeyri – həssas zonaya malikdirsə* (2.1.7 bəndinə bax), onda kritik rejim δ = 90^0 –də müvcud olan rejim hesab olunur, yəni son hədd gücünə *B* nöqtəsində çatmaq olur (şəkil 9.5, *ç*). Belə olan halda, onda δ > 90^0 sahəsində qeyri – həssas zonalı PTT ilə təchiz olunmuş generatorda nə baş verir? Tənzimləyici, yalnız gərginliyin bu və ya digər tərəfə müəyyən qiymətə qədər dəyişdiyi halda işləməyə başlayır. Qeyri – həssas zonada yerləşən kiçik dəyişmələr zamanı tənzimləyici işləmir. Qeyri – həssaslıq zonasına iki xarici xarakteristika uyğundur (şəkil 9.6).



Şəkil 9.6. Qeyri–həssaslıq zonalı PTT ilə təchiz olunmuş generatorun öz – özünə yırğalanması

Fərz edək ki, ilkin verilmiş rejimə *a* nöqtəsi uyğundur. Bucağın artmasına səbəb olan kiçicik həyəcanlanma zamanı, generatorun şinində gərginlik azalır.Lakin

nə qədər ki, dəyişmə qeyri – həssaslıq zonasında yerləşir, tənzimləyici işləmir. Generatorun valında bucağın artması zamanı sürətləndirici izafi moment yaranır ki, bu onun sürətini artırmaqda davam etdirir və hərəkət trayektoriyası qeyri – həssaslıq zonasını kəsdiyi zaman (*b* nöqtəsi) tənzimləyici başlayır şləməyə.

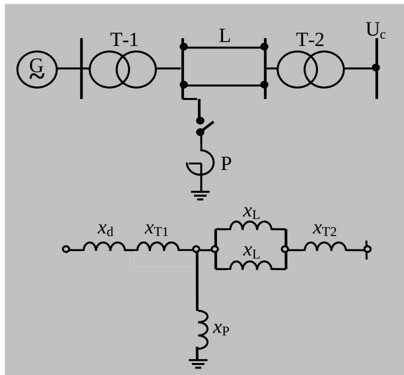
Təsirlənmə cərəyanınınartımı və müvafiq olaraq generatorun EHQ artımı gücün azalmasının yavaşıdır, işçi nöqtəni güc xarakteristikasının EHQ –nin böyük qiymətinə uyğun olan nöqtəsinə (*c*, *d* nöqtələri) sürüşdürür. Güc artıqlığı *e* nöqtəsində yox olur, lakin rotorun öz inersiyası hesabına bucağın bundan sonra da artması davam edir. *f* nöqtəsində bucaq maksimum qimətinə çatır və bundan sonra azalmağa başlayır. Xarici xarakteristikada yerləşən *g* nöqtəsini keçdikdən sonra tənzimləyici təsirləndiricinin gərginliyini azaltmağa başlayır və gücün dəyişmə əyrisi gücün daxili xarakteristikasını əks istiqamətə kəsənə gədər bu tənzimləyici təsir edir. Beləliklə, *daxili qeyri – dayanıqlıq hesabına δ bucağının sönməyən rəqsi yaranır*. Bu rəqslərin amplitudu tənzimləyicinin qeyri – həssaslıq zonasının enindən asılıdır. Bucaqla eyni zamanda generatorun rejim parametləri – gərginliyi, cərəyanı və gücü də rəqsi dəyişir. Bu rəqsi dəyişmələr generatorun işinə nəzarət etməyi çətinləşdirir və oxşar rejimlərdə onun istismar olunmasından imtina etməyə məcbur edir.

Generatorun $\delta > 90^0$ bucağına uyğun olan bütün nöqtələrdə onun dayanıqlı işini təmin etmək təsirlənmənin tənzimləmə sistemini mürəkkəbləşdirir və o nəinki gərginliyin dəyişməsinə, həm də dəyişmənin sürətinə, həmçinin gərginliyin dəyişməsinin təcilinə də reaksiya verməlidir. Belə tənzimləyicilər c ə l d t ə s i r l i t ə n z i m l ə y i c i l ə r adlanırlar.

Cəldtəsirli tənzimləyicilər generatorun şinində gərginliyin sabitliyini təmin edir (öz – özünə yırğalanma riski olmadan) ona görə də belə tənzimləyici ilə təchiz olunmuş generatorlar statik dayanıqlığının hesabatında özünün sıxaclarında gərginliyi (U = const) və x_G müqaviməti ilə təqdim oluna bilərlər.

M ə s ə l ə 9.1. Şəkildə göstərilən sistemdə G stansiyası gücünü uzunluğu 220km, gərginliyi 220kV olan elektrik verilişi xətti vasitəsilə özündən kifayət qədər artıq gücü olan sistemə verir.

Elektrik verilişinin və ilkin rejimlərin parametrləri aşağıdakılardır:



$$\mathbf{x}'_{\mathbf{d}} = 0.461, \quad x_{T1} = 0.197, \quad x_L = 0.7,$$

$$x_{T2} = 0.142, \quad P_0 = 0.583,$$

$$\cos\varphi = 0.85, \quad U_C = 1.$$

Aşağıdakı hallarda sistemin dayanıqlığının təyin olunması tələb olunur: a) TAT qurğusu olmadıqda; b) proporsional tipli TAT qurğusu olduqda; c) cəldtəsirli TAT qurğusu olduqda. Xəttin əvvəlində reaktor x_r = 20.2 qoşulduqdan sonra statik dayanıqlığın ehtiyatını müəyyən edin.

Hə l l i. 1. Təs.AT olmadığı halda ötürülən gücün həddi sinxron EHQ – nin sabit olduğu şərtdən (E_q = const) təyin olunur. Elektrik verilişinin ümumi müqaviməti

$$x_{d\Sigma} = x_d + x_{T1} + \frac{x_L}{2} + x_{T2} = 2.49.$$

Sinxron EHQ

$$E_q = \sqrt{\left(U_C + \frac{Q_0 x_{d\Sigma}}{U_C}\right)^2 + \left(\frac{P_0 x_{d\Sigma}}{U_C}\right)^2} = 2.39.$$

Ötürülən gücün maxsimal həddi

$$P_{max} = \frac{E_q U_C}{x_{d\Sigma}} = 0.96.$$

Statik dayanıqlığın ehtiyat əmsalı

$$k_e = \frac{P_{max} - P_0}{P_0} = 0.65$$

2. Generatorda proporsional tipli TAT quraşdırıldıqda ötürülən güc həddini və dayanıqlığı keçid müqavimətindən sonra EHQ –nin sabitliyi ($E^{/}$ = const) şərtindən təqribi təyin etmək olar. Bu halda statik dayanıqlığın ehtiyat əmsalı k_e =1.34 -ə bərabərdir.

3. Cəldtəsirli TAT –lar köklənmələrindən asılı olaraq ya generatorun çıxışlarında, ya da xəttin əvvəlində gərginliyin sabitliyini təmin edir. U_G = const qəbul edərək dayaniqliq həddini təyin edək.

Elektrik verilişinin ümumi müqaviməti

$$x_\Sigma = x_{T1} + \frac{x_1}{2} + x_{T2} = 0.689.$$

Generatorun çıxışlarında gərginlik

$$U_G = \sqrt{\left(U_C + \frac{Q_0 x_\Sigma}{U_C}\right)^2 + \left(\frac{P_0 x_\Sigma}{U_C}\right)^2} = 1.31.$$

Ötürülən gücün maksimal həddi

$$P_{max} = \frac{U_G U_C}{x_\Sigma} = 1.9.$$

Statik dayanıqlığın ehtiyat əmsalı

$$k_e = \frac{P_{max} - P_0}{P_0} = 2.26.$$

Hesabatların nəticələrinin müqayisəsindən görünür ki, proporsional tipli TAT olan hal tənzimlənmənin olmadığı hala nisbətən statik dayanıqlığın ehtiyatını 59%, cəldtəsirli TAT isə 248 % artırır. Ötürülən güc həddinin artması onunla əlaqədardır ki, TAT tamamilə (cəldtəsirli TAT) yaxud qismən (proporsional tipli TAT) generatorun məxsusi müqavimətinin ötürülən gücün həddinə təsirini aradan qaldırır.

Reaktor qoşulduqdan sonra statik dayanıqlığın şərtinə görə elektrik verilişinin maksimal güc həddi aşağıdakı formula ilə təyin edək.

$$P_{max} = y_{12} E_q U_C,$$

burada

$$\frac{1}{y_{12}} = x_d + x_{T1} + \frac{x_1}{2} + x_{T2} + \frac{(x_d + x_{T1})(x_L/2 + x_{T2})}{x_r}.$$

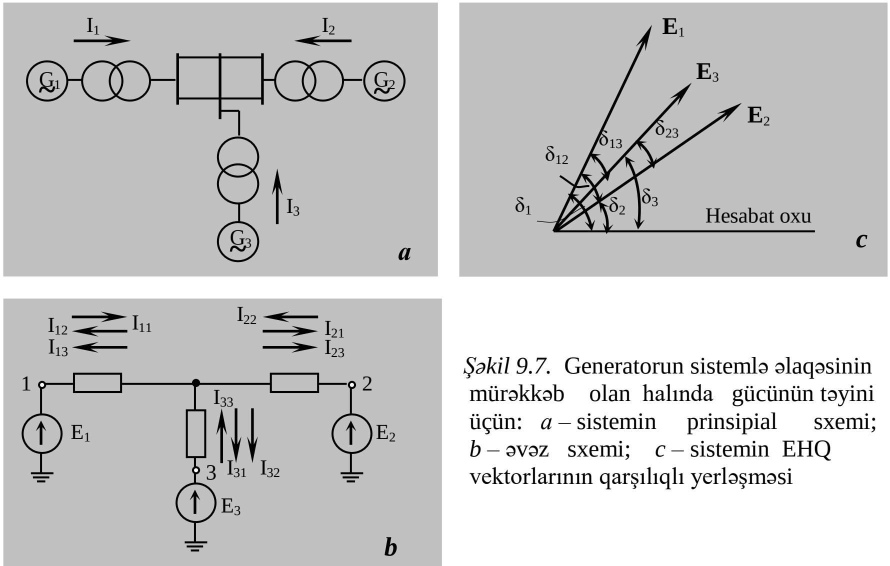
Göstərilən ifadədə sistemin və rejimin parametrlərini yerinə yazaraq $1/y_{12} = 2.54$ və $P_{max} = 0.98$ buradan statik dayanıqlığın ehtiyatı əmsalını $k_e = 0.68$ alarıq.

Beləliklə, xəttin əvvəlinə qoşulan şuntlayıcı reaktor statik dayanıqlığın ehtiyatının 3% artmasına səbəb olur. Ehtiyatın artması generatorun reaktiv yükünün artması səbəbindən EHQ –nin artması ilə əlaqədardır.

Generatorlarda proporsional tipli TAT qurğusu qoşulan halda reaktorun yaratdığı reaktiv yükün artmasından alınan müsbət effekt az ola bilər, lakin xəttin əvvəlində gərginliyi sabit saxlayan cəldtəsirli TAT qurğusu olduqda reaktorun qoşulması ötürülən güc həddinin dəyişməsinə təsir etməyəcək.

9.8. GENERATORUN SİSTEMLƏ ƏLAQƏSİNİN MÜRƏKKƏB OLAN HALI ÜÇÜN GÜC XARAKTERİSTİKASI

Mürəkkəb elektrik sistemində (tərkibində bir neçə elektrik stansiyası olan sistemdə) hər bir stansiyanın sistemə verdiyi güc (ekvivalent generatorun) sistemin bütün generatorlarının EHQ –lərinin modullarından və fazalarının sürüşməsindən asılıdır. Şəkil 9.7 –də təsvir olunmuş elektrik sistemi üçün birinci stansiyanın sistemə verdiyi gücü ifadə edək. Bunun üçün üst – üstə düşmə prinsipindən istifadə



Şəkil 9.7. Generatorun sistemlə əlaqəsinin mürəkkəb olan halında gücünün təyini üçün: *a* – sistemin prinsipial sxemi; *b* – əvəz sxemi; *c* – sistemin EHQ vektorlarının qarşılıqlı yerləşməsi

edək. Bu prinsipə görə generatorun dolağından axan cərəyana üç cərəyanın üst – üstə düşməsinin (cəminin) nəticəsi kimi baxmaq olar. Sistemin əvəz sxemində (şəkil 9.7, *b*) I_{11} cərəyanı elə bir cərəyandır ki, bu generatorun dolağından o halda axardı ki, əgər yerdə qalan generatorların EHQ –ləri sıfıra bərabər olmuş olsun və eyni zamanda bu generatorların dolaqlarından keçən dövrə yerlə qapalı qalmış olsun. İkinci cərəyan I_{12} cərəyanı , 1 və 3 –cü generatorlarının EHQ–ləri qısa qapanmış olduğu halda, 2 –ci generatorunun EHQ –si ilə yaranır. I_{13} cərəyanı, 1 və 2 –ci generatorlarının EHQ –ləri qısaqapanmış olduğu halda, 3 –cü generatorunun EHQ –si ilə yaranır.

Baxılan üç rejimin cərəyanlarını bir – birinin üstünə qoyaraq birinci generatorun dövrəsindən axan cərəyanı alarıq (şəkil 9.7, *b*)

$$\mathbf{I}_1 = \mathbf{I}_{11} - \mathbf{I}_{12} - \mathrm{I}_{13}.$$

Tam cərəyanın mürəkkəbələri müvafiq EHQ –lərə mütənasibdir. EHQ və cərəyan arasındakı mütənasiblik əmsalı şəbəkənin konfiqurasiyasından və onun ayrı – ayrı budaqlanmalarının müqavimətindən asılıdır və dövrənin m ə x s u s i v ə q a r ş ı l ı q l ı k e ç i r i c i l i y i adlanır. Mürəkkəbələr üçün ifadə aşağıdakı kimi yazıla bilər:

$$\mathbf{I}_{11} = \mathbf{E}_1\mathbf{Y}_{11}, \ \mathbf{I}_{12} = \mathbf{E}_2\mathbf{Y}_{12}, \ \mathbf{I}_{13} = \mathbf{E}_3\mathbf{Y}_{13}. \quad (9.11)$$

Burada $\mathbf{Y}_{11}$ – məxsusi keçiricilik; $\mathbf{Y}_{12}$, $\mathbf{Y}_{13}$ – şəbəkənin qarşılıqlı keçiriciliyidir.

Birinci generatorun tam cərəyanı, (9.11) ifadəsi nəzərə alınmaqla aşağıdakı şəkildə olur

$$\mathbf{I}_1 = \mathbf{E}_1\mathbf{Y}_{11} - \mathbf{E}_2\mathbf{Y}_{12} - \mathbf{E}_3\mathbf{Y}_{13}.$$

Gücün kompleks qiyməti cərəyanın birləşmiş (əlaqəli (bağlı) kompleksinin müvafiq EHQ –ləri kompleksinə hasili ilə təyin olunur (Əlavə 4 –ə bax):

$$\mathbf{S}_1 = \mathbf{E}_1\overset{\frown}{\mathbf{E}}_1\overset{\frown}{\mathbf{Y}}_{11} = \mathbf{E}_1\overset{\frown}{\mathbf{E}}_2\overset{\frown}{\mathbf{Y}}_{12} - \mathbf{E}_1\overset{\frown}{\mathbf{E}}_3\overset{\frown}{\mathbf{Y}}_{13}. \quad (9.12)$$

Əgər $\mathbf{E}_1$, $\mathbf{E}_2$, $\mathbf{E}_3$ EHQ –lərinin ixtiyarı oxa nəzarən hesablanan faza bucaqlarını δ_1, δ_2, δ_3 ilə, bucaqların aşağıda verilən məxsusi və qarşılıqlı kompleks

$$Z_{11} = 1/Y_{11}, \quad Z_{12} = 1/Y_{12}, \quad Z_{13} = 1/Y_{13}$$

müqavimətlərinin arqumentlərini Ψ_{11}, Ψ_{12}, Ψ_{13} ilə işarə etsək, onda (9.12) ifadəsini aşağıdakı şəkildə yaza bilərik:

$$S_1 = E_1 e^{j\delta_1} E_1 e^{-j\delta_1} Y_{11} e^{j\Psi_{11}} - E_1 e^{j\delta_1} E_2 e^{-j\delta_2} Y_{12} e^{j\Psi_{12}} -$$
$$- E_1 e^{j\delta_1} E_3 e^{-j\delta_3} Y_{13} e^{j\Psi_{13}} =$$
$$= E_1^2 Y_{11} e^{j\Psi_{11}} - E_1 E_2 Y_{12} e^{j(\delta_{12}+\Psi_{12})} - E_1 E_3 Y_{13} e^{j(\delta_{13}+\Psi_{13})},$$

burada $\delta_{12} = \delta_1 - \delta_2$, $\delta_{13} = \delta_1 - \delta_3$ – 1 və 2 –ci , həmçinin 1 və 3 –cü generatorlarının EHQ vektorları arasındakı bucaqlardır.

Kompleks qiymətlərdən triqonometrik formaya keçsək aşağıdakıları alarıq:

$$S = E_1^2 Y_{11}(\cos\Psi_{11} + j\sin\Psi_{11}) -$$
$$- E_1 E_2 Y_{12}[\cos(\delta_{12}+\Psi_{12}) + j\sin(\delta_{12}+\Psi_{12})] -$$
$$- E_1 E_3 Y_{13}[\cos(\delta_{13}+\Psi_{13}) + j\sin(\delta_{13}+\Psi_{13})].$$

Bu ifadənin həqiqi hissəsi generatorun verdiyi aktiv gücdür:

$$P_1 = E_1^2 Y_{11}\cos\Psi_{11} - E_1 E_2 Y_{12}\cos(\delta_{12}+\Psi_{12}) - \quad (9.13)$$
$$- E_1 E_3 Y_{13}\cos(\delta_{13}+\Psi_{13}).$$

Əgər Ψ arqumentləri əvəzinə onları 90^0 –yə qədər tamamlayan $\alpha = 90^0 - \Psi$ arqumentini daxil etsək və $\cos(90^0 - \alpha) = -\sin\alpha$ (9.13) ifadəsi aşağıdakı şəkildə yazıla bilər:

$$P_1 = E_1^2 Y_{11}\sin\alpha_{11} + E_1 E_2 Y_{12}\sin(\delta_{12}-\alpha_{12}) + \quad (9.14)$$
$$+ E_1 E_3 Y_{13}\sin(\delta_{13}-\alpha_{13}).$$

(9.14) ifadəsi generatorun gücünü EHQ –dən, EHQ –lərin aralanma bucaqlarından, həmçinin məxsusi və qarşılıqlı keçiriciliklərindən asılı olaraq təyin etməyə imkan verir. Bu ifadə istənilən sayda generatorlar üçün ümumiləşdirilə bilər:

$$P_1 = E_1^2 Y_{11}\sin\alpha_{11} + E_1 E_2 Y_{12}\sin(\delta_{12}-\alpha_{12}) + \ldots + E_1 E_n Y_{1n}\sin(\delta_{1n}-\alpha_{1n}).$$

Analoji şəkildə sistemin istənilən generatorunun gücünü almaq olar. (*n*–1) generatoru üçün

$$P_{n-1} = E_{(n-1)}E_1Y_{(n-1)1}\sin\left(\delta_{(n-1)1} - \alpha_{(n-2)1}\right) +$$
$$+ E_{(n-1)}E_2Y_{(n-1)2}\sin\left(\delta_{(n-1)2} - \alpha_{(n-2)2}\right) + \ldots + E_{(n-1)}^2Y_{(n-1)(n-1)}\sin\alpha_{(n-1)(n-1)} +$$
$$+ E_{(n-1)}E_nY_{(n-1)n}\sin\left(\delta_{(n-1)n} - \alpha_{(n-2)n}\right).$$

n –inci generator üçün

$$P_n = E_nE_1Y_{n1}\sin\left(\delta_{n1} - \alpha_{n1}\right) + E_nE_2Y_{n2}\sin\left(\delta_{n2} - \alpha_{n2}\right) + \ldots + E_n^2Y_{nn}\sin\alpha_{nn}.$$

Alınmış formulalardan görünür ki, generatorun sistemə verdiyi gücü hesablamaq üçün sistemin bütün generatorlarının EHQ –ləri və onların arqumentləri, həmçinin məxsusi və qarşılıqlı keçiriciklərinin kompleks qiymətini bilmək lazımdır. EHQ –lərin modulu və arqumentləri baxılan keçid rejimindən əvvəlki normal rejimin parametrləri kimi hesablanır. Məxsusi və qarşılıqlı keçiricikləri hesablamaq üçün əlavə hesabatın aparılması zəruridir.

9.9. MƏXSUSİ VƏ QARŞILIQLI KEÇİRİCİKLƏRİN HESABATI

Məxsusi və qarşılıqlı keçiriciliklərin hesabatının bir neçə metodu məlumdur.

1. *Şəbəkənin çevrilmə metodu* sistemin əvəz sxeminin dioqanallı və düyün nöqtələrində müqavimət yükü olan çoxbucaqlıya gətirilməsinə əsaslanıbdır. Çevirmə prosesində məlum olan çevirmə metodlarının istənilən birindən istifadə oluna bilər:

– uçşualı ulduzun üçbucağa və əksinə çevrilməsi;
– çoxbucaqlı ulduzun ekvivalent çoxbucaqlı ilə əvəz olunması;
– bucaqların müqavimətlərinin ardıcıl və paralel toplanması;
– yükün qonşu qovşaqlara köçürülməsi;
– şəbəkənin bölünməsi və s.

Sonuncu çoxbucaqlıda tərəflərin və diaqanalların müqavimətləri qarşılıqlı müqavimətlərdir. İşarələnmədə indekslər müqavimətlərin qoşulduğu qovşaqların nömrəsinə uyğun olur. Qarşılıqlı keçiricilikər təyin olunmuş müqavimətlərin tərs qiyməti kimi təyin olunur. Budaqların məxsusi keçiricilikləri aşağıdakı kimi hesablanır:

$$Y_{ii} = \sum_{j=0}^{n} Y_{ij}.$$

Şəbəkənin çevirilmə metodunun çatışmayan cəhəti ümumi hesabat alqoritminin alınmsının mümkün olmamasıdır və o kifayət qədər sadə sxemlərdə istifadə olunur.

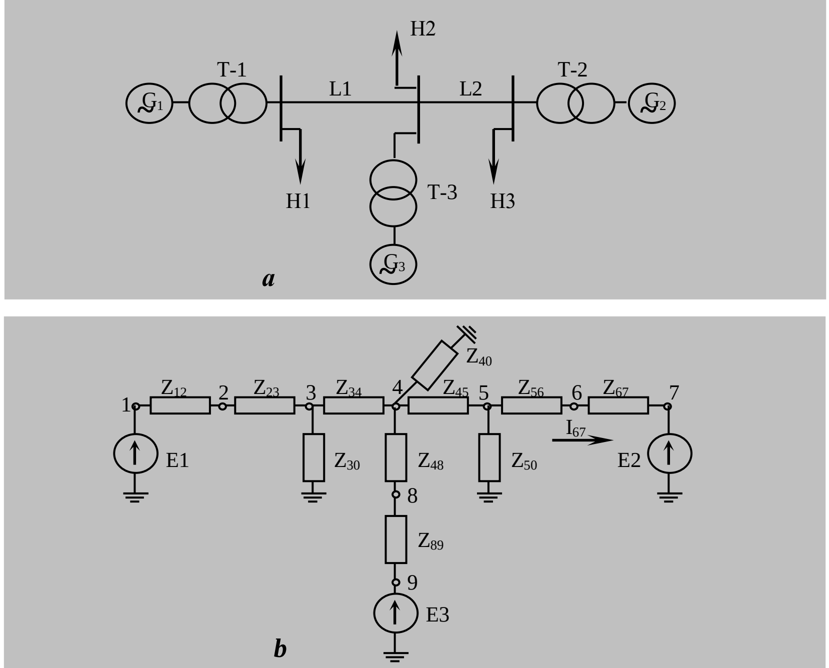
2. *Vahid cərəyanlar metodu da* nisbətən sadə sxemlərdə istifadə olunur. Sxemı şəkil 9.8 –də göstərilən sistemə baxaq. Fərz edək ki, E_2 və E_3 EHQ –lərin qısa qapanmışdır. *6 – 7* dövrəsində cərəyanı vahidə bərabər qəbul edərək (buradan metodun adı qoyulub), bir E_1 EHQ –li sxemin elektrik hesabatını yerinə yetirək.

5 qovşaqında gərginlik

$$\mathbf{U}_5 = \mathbf{I}_{67}\left(\mathbf{Z}_{56} - \mathbf{Z}_{67}\right).$$

4 – 5 budağındakı cərəyan

$$\mathbf{I}_{45} = \mathbf{I}_{67} + \mathbf{U}_5 / \mathbf{Z}_{50}.$$



Şəkil 9.8. Vahid cərəyanlar metodu ilə məxsusi və qarşılıqlı müqavimətlərin təyini üçün: *a* – prinsipial sxemi; *b* – əvəz sxemi

4 düyünündəkı gərginlik

$$\mathbf{U}_4 = \mathbf{U}_5 + \mathbf{I}_{45}\mathbf{Z}_{45}.$$

3 – 4 budağındakı cərəyan

$$\mathbf{I}_{34} = \mathbf{I}_{45} + \mathbf{U}_4 / \mathbf{Z}_{40} + \mathbf{U}_4 / (\mathbf{Z}_{48} + \mathbf{Z}_{89}).$$

3 düyünündəki gərginlik

$$\mathbf{U}_3 = \mathbf{U}_4 + \mathbf{I}_{34} / \mathbf{Z}_{34}.$$

1 – 3 budağındakı cərəyan

$$\mathbf{I}_{13} = \mathbf{I}_{34} + (\mathbf{U}_3 / \mathbf{Z}_{30}).$$

E_1 EHQ

$$\mathbf{E}_1 = \mathbf{U}_3 + \mathbf{I}_{13}(\mathbf{Z}_{12} + \mathbf{Z}_{23}).$$

Rejimin alınmış parametrləri aşağıdakıları təyin etməyə imkan verir: birinci stansiyanın məxsusi keçiriciliyini

$$\mathbf{Y}_{11} = \mathbf{I}_{13} / \mathbf{E}_1$$

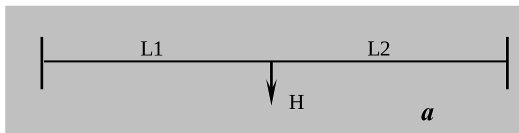
və qarşılıqlı keçiricilikləri

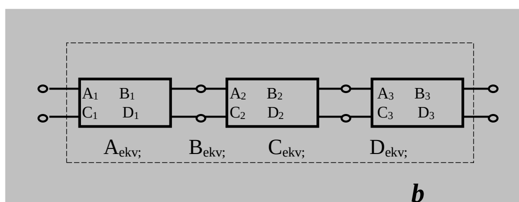
$$\mathbf{Y}_{12} = \mathrm{I}_{67} / \mathbf{E}_1,$$

$$\mathbf{Y}_{13} = \frac{\mathbf{I}_{89}}{\mathbf{E}_1} \frac{\mathbf{U}_4}{(\mathbf{Z}_{48} + \mathbf{Z}_{89})\mathbf{E}_1}.$$

Analoji hesabatları E_1 və E_3 EHQ –lərinin, həmçinin E_1 və E_2 EHQ – lərinin qapanmış halı üçün apararaq sxemin yerdə qalan digər məxsusi və qarşılıqlı keçiriciklərini alarıq.

3. *Ekvivalent dördqütblü metodu* baxılan sxemin hər bir elementini sabitlərinin qiyməti məlum olan dördqütblü şəkilində təqdim olunmasına əsaslanmışdır. Məsələn, şəkil 9.9 –da elektrik sistemin bir hissəsi, sabit müqavimətlə əvəz olunmuşiki elektrik veriliş xətti və yük verilmişdir. Xəttin sabitləri aşağıdakı kimi təyin olunur:





Şəkil 9.9. Sistemin bir hissəsinin dördqütblü ilə əvəz olunması:
a – sistemin prinsipial sxemi;
b – dördqütblü əsasında çevirmə

$$\mathbf{A}_L = \mathbf{D}_L = sh\,\gamma_0 l \cong \cos\alpha_0 l, \quad \mathbf{B}_L = \mathbf{Z}_C = sh\,\gamma_0 l \cong j\mathbf{Z}_C \sin\alpha_0 l,$$

$$\mathbf{C}_X = \frac{sh\gamma_0 l}{\mathbf{Z}_C} \cong j\frac{\sin\alpha_0 l}{\mathbf{Z}_C},$$

burada $\mathbf{Z_C} = \sqrt{\mathbf{Z}_0/\mathbf{Y_0}}$ – xəttin $\mathbf{Z}_0 = r_0 + jx_0$ uzununa müqavimətinin

$\mathbf{Y}_0 = g_0 + jb_0$ – eninə keçiriciliyinin uzunluq ölçülü dalğa müqavimətidir;

$\gamma_0 = \beta_0 + \gamma\alpha_0 = \sqrt{\mathbf{Z}_0\mathbf{Y}_0}$ dalğanın yayılma əmsalıdır.

Sabit yüklər

$$\mathbf{A_Y} = \mathbf{D}_Y = 1, \ \ \mathbf{B}_Y = 0, \ \ \mathbf{C}_Y = \frac{1}{\mathbf{Z}_Y}.$$

Kaskad şəklində birləşdirilmiş iki dördqütblünün ekvivalent sabitləri birinci və ikinci dördqütblərin sabitlərindən tərtib olunmuş kvadrat matrislərin bir – birinə vurulması ilə təyin olunur.

$$\begin{vmatrix} \mathbf{A} & \mathbf{B} \\ \mathbf{C} & \mathbf{D} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} \mathbf{A}_1 & \mathbf{B}_1 \\ \mathbf{C}_1 & \mathbf{D}_1 \end{vmatrix} \begin{vmatrix} \mathbf{A}_2 & \mathbf{B}_2 \\ \mathbf{C}_2 & \mathbf{D}_2 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} \mathbf{A}_1\mathbf{A}_2 + \mathbf{B}_1\mathbf{C}_2 & \mathbf{A}_1\mathbf{B}_2 + \mathbf{B}_1\mathbf{D}_2 \\ \mathbf{A}_2\mathbf{C}_1 + \mathbf{D}_1\mathbf{C}_2 & \mathbf{B}_2\mathbf{C}_1 + \mathbf{D}_1\mathbf{D}_2 \end{vmatrix}.$$

Beləliklə,

$$\mathbf{A}_{ekv} = \mathbf{AA}_3 + \mathbf{BC}_3, \quad \mathbf{B}_{ekv} = \mathbf{AB}_3 + \mathbf{BD}_3,$$
$$\mathbf{C}_{ekv} = \mathbf{A}_3\mathbf{C} + \mathbf{C}_3\mathbf{D}, \quad \mathbf{D}_{ekv} = \mathbf{B}_3\mathbf{C} + \mathbf{DD}_3.$$

Analoji çevirməni paralel birləşdirilmiş dördqütblü üçün də yerinə yetirmək olar. Məxsusi və qarşılıqlı keçiriciliklər ekvivalent dördqütblünün sabitləri vasitəsilə aşağıdakı kimi hesablanır:

$$\Psi_{11} = \frac{\mathbf{D}_{ekv}}{\mathbf{B}_{ekv}}, \quad \mathbf{Y}_{22} = \frac{\mathbf{A}_{ekv}}{\mathbf{B}_{ekv}}, \quad \mathbf{Y}_{12} = \frac{1}{\mathbf{B}_{ekv}}.$$

Mürəkkəb sxemlərin bəzi elementlərinin parametrləri dəyişən zaman məxsusi və qarşılıqlı keçiriciliklərin təyin olunması tələb olunduqda əvəz sxeminin iki hissəyə bölünməsindən istifadə olunur. Bu hissələrdən birinin tərkibində parametrləri dəyişilmiş element olmur və onun hər bir keçiriciliyinin yalnız yeganə bir qiyməti olur. İkinci hissə məxsusi və qarşılıqlı keçiriciliyin bir sıra qiymətləri ilə xarakterizə olunur. Bütün sxemin məxsusi və qarşılıqlı keçiriciliyi [4] –də verilən metodika üzrə təyin olunur.

9.10. MÜRƏKKƏB SİSTEMLƏRİN STATİK DAYANIQLIĞI

Mürəkkəb sistemlərin statik dayanıqlığını müxtəlif üsullarla qiymətləndirmək olar.

1. Müəyyən yol verilən sadələşdirilmələr qəbul olunduğu halda praktiki kriterilərin köməyi ilə qiymətləndirmə. Bir sıra praktiki kriterilərin formalaşmasında yük nəzərə alındığından bu kriterilərə sonra baxılacaq.
2. İlkin rejimin kiçik həyəcanlanmasından sonra yaranan sərbəst rəqslərin xarakterinin tədqiqinə əsaslanan kiçik rəqslər metodunun köməyi ilə qiymətləndirmə.

9.10.1. Kiçik rəqslər metodu

Kiçik rəqslər metodu sxemı şəkil 9.1, *a* –da göstərilən elementar sistemin, generator – sonsuz güclü şininin (SGŞ), statik dayanıqlığının analizi üçün tətbiq olunur. Kiçik həyəcanlanmalar zamanı generatorun rotorunun hərəkəti (9.7) tənliyi ilə təsvir edilir. Bu tənliyin sağ tərəfi qeyri – xəttidir, ona görə də onun analitik həlli yoxdur. Lakin müvazinət vəziyyətindən kiçik meylətmə ($\Delta\delta$) zamanı bu

tənliyi sabit əmsallı diferensial tənlik şəkilinə gətirməklə onu xəttiləşdirmək mümkün olur. $\Delta P = P_0 - P_m \sin\delta$ funksiyasını δ_0 oblastında Teylor sırasına ayıraraq aşağıdakı ifadəni alarıq:

$$\Delta P = P_0 - P_{\max}\sin\delta =$$
$$= P_0 - P_{\max}\sin\delta_0 - \left(\frac{dP}{d\delta}\right)_{\delta=\delta_0}\Delta\delta - \frac{1}{2!}\left(\frac{d^2P}{d\delta^2}\right)_{\delta=\delta_0}\Delta\delta^2 - ...,$$

burada $\Delta\delta = \delta - \delta_0$ – ilkin qiymətindən bucağın kiçik meyletməsidir.
$\Delta\delta$ –nın kiçik qiymətlərində onun birincidən yüksək olan tərtibini nəzərdən atmaq olar. Həmçinin $P_0 = P_{\max}\sin\delta$ nəzərə alaraq aşağıdakını yaza bilərik:

$$\Delta P = -\left(\frac{dP}{d\delta}\right)_{\delta=\delta_0}\Delta\delta. \qquad (9.15)$$

$\delta = \delta_0 + \Delta\delta$ və δ_0 – sabit kəmiyyət olduğundan

$$\frac{d^2\delta}{dt^2} = \frac{d^2(\delta_0 + \Delta\delta)}{dt^2} = \frac{d^2\Delta\delta}{dt^2} \text{ olar.} \qquad (9.16)$$

(9.15) və (9.16) bərabərliklərini (9.6) ifadəsində yerinə yazsaq sadə xətti diferensial tənlik alarıq

$$\frac{d^2\Delta\delta}{dt^2} + \frac{1}{T_j}\frac{dP}{d\delta}\Delta\delta = 0.$$

Bu tənliyin həlli $\Delta\delta$ aşağıdakı ifadəyə müvafiq olaraq zamana görə dəyişməsidir:

$$\Delta\delta = K_1 e^{P_1 t} + K_2 e^{P_2 t},$$

burada p_1 və p_2 $p^2 + \frac{1}{T_j}\frac{dP}{d\delta} = 0$ tənliyinin xarakterik kökləridir və aşağıdakı kimi təyin olunur

$$p_{1.2} = \pm\sqrt{-\frac{1}{T_j}\frac{dP}{d\delta}} = \pm j\sqrt{\frac{1}{T_j}\frac{dP}{d\delta}}.$$

Tənliyin kökləri $dP/\ d\delta > 0$ olduqda təmiz xəyalı və ya $dP/\ d\delta < 0$ olduqda isə tamamilə həqiqi ədəd alınır. Xəyali köklər olduqda $p_{1,2} = \pm j\omega$ bərabərdir, burada $\omega = \sqrt{(1/T_j)(dP/d\delta)}$, xarakteristik tənliyin həlli aşağıdakı kimi olacaqdır

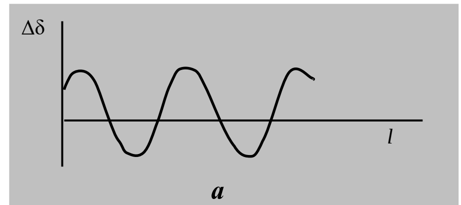
$$\Delta\delta = K_1 e^{j\omega t} + K_2 e^{j\omega t}.$$

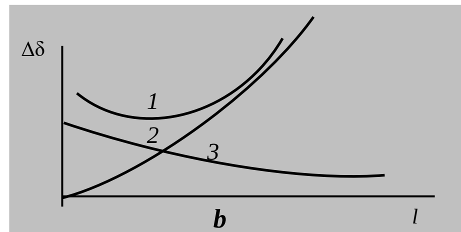
Bu ifadəyə uyğun olaraq bucağın dəyişməsi δ ətrafında sönməyən rəqslər qanunu üzrə baş verir (şəkil 9.10, *a*).

İtki nəzərə alındıqda rəqsin xarakteri sönən olur.Başlanğıc vəziyyət pozul–duqdan bir müddət sonra ilkin vəziy–yət bərpa olunur. Sistem bu halda dayanıqlıdır.

Əgər xarakteristik tənliyin kökləri həqiqidirsə ($p_{1,2} = \pm p$), onda bucağın dəyişməsi aperiodik xarak – terli olur (şəkil 9.10, *b*). Müsbət həqiqi kökün olması Δδ –nin artmasına gətirib çıxarır, bucaq fasiləsiz artır və sistem dayanıqsız olur. Buna görə də dayanıqlığın əvvəllər müəyyən olunmuş zəruri və kafi şərti dP/ dδ > 0 olmasıdır.

Beləliklə, kiçik rəqslər me–todu generatorun rotorunun hərəkət tənliyinin xəttiliyini, xarakteristik tənliyin alınmasını və bu tənliyin köklərinin analizini tələb edir.





Şəkil 9.10 Kiçik həyacanlanmlardan bucağın dəyişməsi: *a* – xəyali köklər ($k_1e^{j\omega l}+k_2e^{-j\omega l}$); *b*– həqiqi köklər (Δδ– əyri 1, $k_1e^{\rho t}$ – əyri 2, $k_2e^{\rho t}$ – əyri 3)

9.10.2. Mürəkkəb sistemlərin statik dayanıqlığının analizi üçün kiçik rəqslər metodunun tətbiqi

Fərz edək ki, tərkibində bir neçə elektrik stansiyası və yüklər olan mürəkkəb elektrik sistemində bütün yüklər sabit müqavimətlərdə verilibdir. Bu halda generatorların gücü hesablama sxeminin məxsusi və qarşılıqlı keçiriciliyi vasitəsilə asan ifadə olunur:

$$\left.\begin{aligned} P_1 &= E_1^2 Y_{11}\sin\alpha_{11} + E_1E_2Y_{12}\sin(\delta_{12}-\alpha_{12}) + E_1E_3Y_{13}\sin(\delta_{13}-\alpha_{13}) + \ldots \\ P_1 &= E_2E_1Y_{21}\sin(\delta_{21}-\alpha_{21}) + E_2^2Y_{22}\sin\alpha_{22} + E_2E_3Y_{23}\sin(\delta_{23}-\alpha_{23}) + \ldots \\ &\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \\ P_n &= E_nE_1Y_{n1}\sin(\delta_{n1}-\alpha_{n1}) + E_nE_2Y_{n2}\sin(\delta_{n2}-\alpha_{n2}) + \ldots + E_n^2Y_{nn}\sin\alpha_{nn} + \end{aligned}\right\}. \quad 9.17)$$

Burada $\delta_{12} = -\delta_{21} = \delta_1 - \delta_2$; $\delta_{23} = -\delta_{32} = \delta_2 - \delta_3$ və s. Nisbi bucaqlar ixtiyarı seçilmiş sinxron fırlanan oxa nisbətən hesablanan mütləq bucaqların fərqi kimi təyin olunur (şəkil 9.11). Əgər sistemdə generatorların sayı N –ə bərabərdirsə, oonda (9.17) –də sərbəst dəyişənlərin sayı $N - 1$ nisbi bucaqlardır. Generatorların sistemə verdiyi güc $N - 1$ sərbəst dəyişənlərin funksiyasıdır və ümumi halda aşağıdakı kimi ifadə olunur:

Şəkil 9.11. Qarşılıqlı bucaqların təyini üçün

$$\left.\begin{aligned} P_1 &= P_1(\delta_{12},\delta_{13}\ldots\delta_{1n}) \\ P_2 &= P_2(\delta_{12},\delta_{13}\ldots\delta_{1n}) \\ P_n &= P_n(\delta_{12},\delta_{13}\ldots\delta_{1n}) \end{aligned}\right\}. \quad (9.18)$$

(9.18) sistemində $P_1, P_2, \ldots, P_n$ – funksiyaları (9.17) – dən hər bir bərabərlikdə bütün nisbi bucaqları $\delta_{12}, \delta_{13}, \ldots, \delta_{1n}$ qiymətləri ilə əvəz etdikdən sonra təyin olunur.

Sistemin qərarlaşmış rejimi pozulduqda generatorların yırğa – lanması baş verir. Rotorlarda yırğalanmanın xarakteri aşağıdakı diferensial tənliklərlə təyin olunur.

$$\left.\begin{aligned} T_{j1}\frac{d^2\delta_1}{dt^2} &= P_{10} - P_1(\delta_{12},\delta_{13},\ldots,\delta_{1n}) \\ T_{j2}\frac{d^2\delta_2}{dt^2} &= P_{20} - P_2(\delta_{12},\delta_{13},\ldots,\delta_{1n}) \\ T_{jn}\frac{d^2\delta_n}{dt^2} &= P_{n0} - P_n(\delta_{12},\delta_{13},\ldots,\delta_{1n}) \end{aligned}\right\}. \quad (9.19)$$

Elementar sistemdə olduğu kimi, burada da (9.19) ifadəsinin sağ tərəfini Teylor sırasına ayırmaq olar:

$$\left.\begin{aligned}
&P_{10} - P_1(\delta_{12}, \delta_{13}, \ldots, \delta_{1n}) = \\
&= P_{10} - \left(P_{10} + \frac{dP_1}{d\delta_{12}} \Delta\delta_{12} + \frac{dP_1}{d\delta_{13}} \Delta\delta_{13} + \ldots + \frac{dP_1}{d\delta_{1n}} \Delta\delta_{1n} + \ldots \right) \\
&P_{20} - P_2(\delta_{12}, \delta_{13}, \ldots, \delta_{1n}) = \\
&= P_{20} - \left(P_{20} + \frac{dP_2}{d\delta_{12}} \Delta\delta_{12} + \frac{dP_2}{d\delta_{12}} \Delta\delta_{13} + \ldots + \frac{dP_2}{d\delta_{1n}} \Delta\delta_{1n} + \ldots \right) \\
&\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \\
&P_{n0} - P_n(\delta_{12}, \delta_{13}, \ldots, \delta_{1n}) = \\
&= P_{n0} - \left(P_{n0} + \frac{dP_n}{d\delta_{12}} \Delta\delta_{12} + \frac{dP_n}{d\delta_{13}} \Delta\delta_{13} + \ldots + \frac{dP_n}{d\delta_{1n}} \Delta\delta_{1n} + \ldots \right)
\end{aligned}\right\}. \quad (9.20)$$

(9.20) tənliklər sisteminin hər bir bərabərliyinin sonunda olan “+” işarəsi və nöqtələr yüksək tərtiblərə (sıralara) ayrılan üzvlərin olduğunu göstərir. Bu üzvləri ataraq və (9.19) tənliyinin sol tərəfini aşağıdakı şəkilə gətirərək:

$$T_{j1} \frac{d^2\delta_1}{dt^2} = T_{j1} \frac{d^2(\delta_1 + \Delta\delta_1)}{dt^2} = T_{j1} \frac{d^2\Delta\delta_1}{dt^2}$$

və s. kiçik rəqslər tənlikləri sistemini alarıq

$$\left.\begin{aligned}
&T_{j1} \frac{d^2\Delta\delta_1}{dt^2} + \frac{\partial P_1}{\partial\delta_{12}} \Delta\delta_{12} + \ldots + \frac{\partial P_1}{\partial\delta_{1n}} \Delta\delta_{1n} = 0 \\
&T_{j1} \frac{d^2\Delta\delta_2}{dt^2} + \frac{\partial P_2}{\partial\delta_{12}} \Delta\delta_{12} + \ldots + \frac{\partial P_2}{\partial\delta_{1n}} \Delta\delta_{1n} = 0 \\
&T_{j1} \frac{d^2\Delta\delta_n}{dt^2} + \frac{\partial P_n}{\partial\delta_{1n}} \Delta\delta_{1n} + \ldots + \frac{\partial P_n}{\partial\delta_{1n}} \Delta\delta_{1n} = 0
\end{aligned}\right\}. \quad (9.21)$$

(9.21) tənliyinin hər bir bərabərliyini T_j –nin müvafiq qiymətinə bölüb və onların birincisindən növbə ilə bütün yerdə qalanları çıxıb, kiçik rəqslər tənliyini son şəkildə, aşağıdakı kimi yaza bilərik:

$$\left.\begin{array}{l}
\frac{d^2\Delta\delta_{12}}{dt^2}+\alpha_{12}^{12}\Delta\delta_{12}+\alpha_{12}^{13}\Delta\delta_{13}+...+\alpha_{12}^{1n}\Delta\delta_{1n}=0 \\
\alpha_{13}^{12}\Delta\delta_{12}+\frac{d^2\Delta\delta_{13}}{dt^2}+\alpha_{13}^{13}\Delta\delta_{13}+...+\alpha_{13}^{1n}\Delta\delta_{1n}=0 \\
.... \\
\alpha_{1n}^{12}\Delta\delta_{12}+\alpha_{1n}^{13}\Delta\delta_{13}+...+\frac{d^2\Delta\delta_{1n}}{dt^2}+\alpha_{1n}^{1n}\Delta\delta_{1n}=0
\end{array}\right\}. \qquad (9.22)$$

burada $\alpha_{12}^{12}=\frac{1}{T_{j1}}\frac{\partial P_1}{\partial\delta_{12}}-\frac{1}{T_{j2}}\frac{\partial P_2}{\partial\delta_{12}}$, $\alpha_{12}^{13}=\frac{1}{T_{j1}}\frac{\partial P_1}{\partial\delta_{13}}-\frac{1}{T_{j2}}\frac{\partial P_2}{\partial\delta_{13}}$ cüt – cüt götürülmüş stansiyaların nisbi təcilləridir. $p = d/dt$ ilə işarə edib və p –ni cəbri kəmiyyət kimi qəbul edərək (9.22) tənliklər sistemini operator formasında yazaq:

$$\begin{array}{l}
\left(p^2+\alpha_{12}^{12}\right)\Delta\delta_{12}+\alpha_{12}^{13}\Delta\delta_{13}+...+\alpha_{12}^{1n}\Delta\delta_{1n}=0, \\
.... \\
\alpha_{12}^{1n}\Delta\delta_{1n}+\alpha_{13}^{1n}\Delta\delta_{13}+...+\left(p^2+\alpha_{1n}^{1n}\right)\Delta\delta_{1n}=0
\end{array} \qquad (9.23)$$

Sistemin dayanıqsızlığının əlaməti $\Delta\delta_{12}$, $\Delta\delta_{13}$, … , $\Delta\delta_{1n}$ nisbi bucaqlarının sonsuz olaraq artmasıdır. Mütləq bucaqların (δ_1, δ_2, …, δ_n –in) dəyişməsi sistemin dayanıqlığını müəyyən etmir və onların artması dayanıqlı sistemdə də ola bilər. (9.23) xətti tənliklər sisteminin həlli aşağıdakı kimidir.

$$\Delta\delta_{12} = \frac{D_{12}(p)}{D(p)},$$

$$\Delta\delta_{13} = \frac{D_{13}(p)}{D(p)},$$

$$\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots$$

$$\Delta\delta_{1n} = \frac{D_{1n}(p)}{D(p)}.$$

(9.23) sistemi bircinsli olduğundan $D_{1n}(p) = 0$, qeyri – trivial həll yalnız $D(p) = 0$ olduqda alına bilər. $D(p)$ təyinedicisi aşağıdakı şəkildə yazılır:

$$D(p) = \begin{vmatrix} \left(p^2 + \alpha_{12}^{12}\right) & \alpha_{13}^{12} & \ldots & \alpha_{1n}^{12} \\ \ldots\ldots & \ldots\ldots & \ldots\ldots & \ldots\ldots \\ \alpha_{12}^{1n} & \alpha_{13}^{1n} & \ldots & \left(p^2 + \alpha_{1n}^{1n}\right) \end{vmatrix}.$$

Bu təyinedicini açaraq xarakteristik tənliyi alarıq:

$$p^{2(n-1)} + \alpha_2 p^{2(n-2)} + \alpha_4 p^{2(n-3)} + \ldots + \alpha_{2(n-2)} p^2 + \alpha_{2(n-2)} = 0,$$

bunun köklərinin xarakteri $\Delta\delta_{1n}$ nisbi bucaqlarının dəyişmə xarakterini müəyyən edir və sistemin dayanıqlı və ya dayanıqsız olma faktını təsdiq edir.

Statik dayanıqlığın analitik hesabatında xarakteristik tənliyin qismən fərqli digər formasından istifadə olunur. Dayanıqlığın Raus, Mixaylov və s. kriterilərindən istifadə oluna zaman bu daha əlverişli forma hesab olunur:

$$A_0 p^n + A_1 p^{n-1} + A_2 p^{n-2} + \ldots + A_n = 0. \qquad (9.24)$$

A.M. Lyapunovun məlum teoreminə [15, səh.407] uyğun olaraq sistemin dayanıqlı olması üçün (9.24) xarakteristik tənliyinin köklərinin mənfi həqiqi hissəsinin olması zəruri və kafidir. Köklərin təyin olunması bu tənliyin birbaşa həlli ilə həyata keçirilir. (9.24) tənliyi yüksək tərtibli olduqda xarakteristik tənliyi həll etmədən müəyyən əlamətlərə görə sistemin dayanıqlığı haqqında fikir söyləməyə imkan verən metodlardan istifadə olunur. Müvafiq əlamətləri *dayanıqlıq kriteri* adlandırırlar.

Qurvitsin kriterinə uyğun olaraq əgər aşağıda verilən şərtlər təmin olunarsa sabit əmsallı n – tərtibli cəbri tənliyin həqiqi hissəli mənfi kökləri olur:

1. (9.24) tənliyinin bütün əmsalları müsbətdir.
2. Qurvitsin bütün təyinediciləri müsbətdir və aşağıdakı şəkildədir.

$$\Delta_1 = A_1, \quad \Delta_2 = \begin{vmatrix} A_1 & A_3 \\ A_0 & A_2 \end{vmatrix},$$

$$\Delta_3 = \begin{vmatrix} A_1 & A_3 & A_5 \\ A_0 & A_2 & A_4 \\ 0 & A_1 & A_3 \end{vmatrix},$$

$$\Delta_4 = \begin{vmatrix} A_1 & A_3 & A_5 & A_7 \\ A_0 & A_2 & A_4 & A_6 \\ 0 & A_1 & A_3 & A_5 \\ 0 & A_0 & A_2 & A_4 \end{vmatrix},$$

$$\Delta_n = \begin{vmatrix} A_1 & A_3 & A_5 & \ldots & 0 & 0 \\ A_0 & A_2 & A_4 & \ldots & 0 & 0 \\ 0 & A_1 & A_3 & \ldots & 0 & 0 \\ 0 & A_0 & A_2 & \ldots & 0 & 0 \\ \ldots & \ldots & \ldots & \ldots & \ldots & \ldots \\ 0 & 0 & 0 & \ldots & A_{n-1} & A_n \end{vmatrix}. \qquad (9.25)$$

Bu təyinedicilərdə indeksi *n* –dən yüksək olan elementlər sıfırla əvəz olunur. (9.25) təyinedicisində axırıncı sütun sıfırdan fərqli olan bir əmsaldan ibarət olduğundan $\Delta_n = A_n \Delta_{n-1}$ olur. Bu halda $\Delta_n = 0$ şərti iki yerə bölünür: $A_n = 0$ və $\Delta_{n-1} = 0$. Burada birinci aperiodik dayanıqlıq sərhəddini, ikinci isə rəqsli dayanıqlıq sərhəddini təyin edir. Dayanıqlıq şərtinin 1 və 2 bəndləri bir – biri ilə əlaqəlidir. A_i ($i = 1 \ldots n$) əmsallarının müsbət olan hallında Qurvitsin bütün təyinedicilərinin

müsbət olmasının təmin olunması üçün bütün tək təyinedicilərin Δ_1, Δ_3, Δ_5 və s. işarəsinin yoxlanılması kifayətdir. Belə kriteriya *Lenara – Şıpara kriteri* adlanır.

Raus kriteri müəyyən şəkildə cədvəlin (bax cədvələ) tərtib olunmasına əsaslanır. Bu cədvəldə (9.24) xarakteristik tənliyinin əmsallarından istifadə olunur.

Xarakteristik tənliyin həqiqi hissəsinin bütün köklərinin mənfi olması üçün Raus cədvəlinin birinci sütununun bütün elementlərinin sıfırdan fərqli və eyni bir işarəli olması zəruri və kafidir.

A.V. Mixaylov kriteri elektrik sisteminin dayanıqlq şərtini həndəsi formada ifadə etməyə imkan verir. (9.24) xarakterik tənliyində $p = j\omega$ qəbul edərək onu

Raus cədvəli

Sıra №-si	Sütunun №-si			
	1	2	3	4
1	A_0	A_2	A_4	A_6
2	A_1	A_3	A_5	A_7
3	$A_{13} = A_2 - \frac{A_0}{A_1} A_3$	$A_{23} = A_4 - \frac{A_0}{A_1} A_7$	$A_{33} = A_6 - \frac{A_0}{A_1} A_7$	
4	$A_{14} = A_3 - \frac{A_1}{A_{13}} A_{23}$	$A_{24} = A_5 - \frac{A_1}{A_{13}} A_{33}$	$A_{34} = A_7 - \frac{A_1}{A_{13}} A_{43}$	
5	$A_{15} = A_{23} - \frac{A_{13}}{A_{14}} A_{24}$	………………	……………….	

aşağıdakı şəkildə yaza bilərik:

$$D(j\omega) = A_0(j\omega - p_1)(j\omega - p_2)...(j\omega - p_n).$$

Bu tənliyin sağ tərəfini həqiqi və xəyali hissələrə bölərək, alarıq:

$$D(j\omega) = \mathrm{Re}[D(j\omega)] + jlm[D(j\omega)] = |D(j\omega)| j^{j\varphi\omega},$$

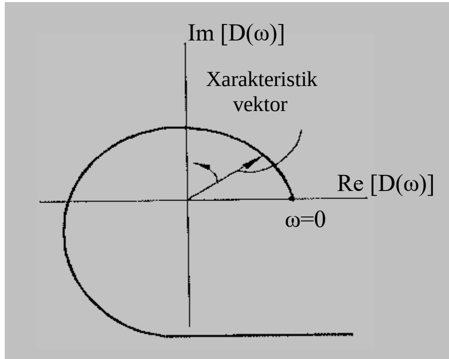
belə ki,

$$\mathrm{Re}[D(j\omega)] = A_n - A_{n-2}\omega^2 + A_{n-4}\omega^4 ...,$$

$$\mathrm{Im}[D(j\omega)] = A_{n-1}\omega - A_{n-3}\omega^3 + A_{n-5}\omega^5 ...$$

ω–ya 0–dan +∞–a qədər qiymətlər verəcək ω –nın hər bir qiyməti üçün kompleks müstəvidə nöqtə alarıq. Bu nöqtələr çoxluğu əyri yaradır ki, o da xarakteristik

çoxhədlinin qodoqrafı (Mixaylov) adlanır. ω–nı dəyişdirərəkən sonu qodoqraf üzrə sürüşən vektor xarakteristik vektor adlanır (şəkil 9.12).



Şəkil 9.12. 4 tərtibli xarakteristik tənliyin qodoqrafı

Mixaylov kriteri qısa şəkildə aşağıdakı kimi ifadə olunur: xarakteristik tənliyin həqiqi hissəsinin köklərinin mənfi olması üçün ω –nın 0–dan + ∞ –a qədər dəyişməsi zamanı xarakteristik vektorun monoton olaraq saat əqrəbinin əksi istiqamətinə *n*π/2 bucağı qədər dönməsi zəruri və kafidir. Burada *n*–xarakteristik tənliyin tərtibidir.

ω–nın bütün qiymətlərində xarakteristik vektorun modulu sıfırdan fərqli olmalıdır.

Sistemin hər hansı bir parametrinin (məs. təsirlənmə tənzimləyicisinin gücləndirmə əmsalının) dayanıqlığa təsirini aşkar etmək lazım gəldikdə *D – bölmə metodu* tətbiq olunur. Avtomatik tənzimləmə sisteminin xarakteristik tənliyinin köklərinin həqiq hissəsinin yalnız mənfi olduqda seçilən gücləndirmə əmsalı qiymətinin təyini məsələsi *D* – bölmə metodunun köməyi ilə həll olunur. Bununla yanaşı parametrlərin sayından asılı olaraq *D* – bölmə metodunu – bir, iki və daha çox parametr üzrə *D* – bölmə metoduna ayırırlar.

B i r p a r a m e t r ə g ö r ə *D* – b ö l m ə m e t o d u. Əgər (9.24) xarakteristik tənliyinin bəzi əmsalları avtomatik tənzimləmə sisteminin *K* parametrindən xətti asılıdırsa, onda tənlik aşağıdakı kimi təqdim oluna bilər.

$$Q(p) + K\ R(p) = 0, \qquad (9.26)$$

burada *Q(p)* – *K* –dan asılı olmayan üzvlərin cəmidir.

Əgər (9.26) –da $p = j\omega$ qəbul etsək, onda

$$K = -\frac{Q(j\omega)}{R(j\omega)}.$$

ω –ya – ∞ –dan + ∞ –a qədər həddə müəyyən Δω intervalı ilə qiymətlər verərək *K*(ω) –nın bir sıra qiymətlərini hesablayıb, həmin qiymətlərə görə *K*

paramtrinin kompleks müstəvisində əyrini qururlar və əyrini baxılan parametrin müstəvisinin *D* – bölmə sərhəddi və ya *D* – əyrisi adlandırırlar. Şəkil 9.13 –də *D* – bölmə sərhəddi göstərilibdir.

D –əyrisi üzərində olan *K* parametrlərinin bütün qiymətlərində xarakteristik tənliyin bir xəyali kökü vardır. Ona görə də deyirlər ki, *D* – əyrisi köklərin kompleks müstəvisinin xəyali oxunun *K* parametrinin müstəvisinə təsvirdir. *D* –bölmənin sərhəddi *K* parametrinin müstəvisini müsbət həqiqi hissələri olan köklərini bərabər saylı sahələrə bölür. Eyni bir sayda olan belə köklərin sahəsini ayırmaq üçün *D* – bölmə sərhəddini ştrixləyirlər. Ştrixləmə əyri üzrə soldan başlayaraq ω= – ∞–dan ω = +∞ –a tərəf yerinə yetirilir.

*Şəkil 9.13.*Bir parametr üzrə *D*–bölmənin sərhəddi

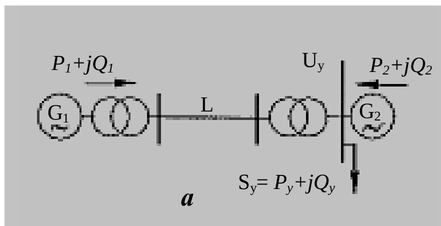
İndi, əgər *K* parametri dəyişərək ştrixlənmiş tərəfdən *D* – əyrisini kəsirsə, onda xarakteristik tənlik sol tərəf yarımmüstəvidə yerləşən bir kökü itirir və sağ tərəfdə yerləşən bir kökü qazanır. *D* – əyrisinin ştrixlənməmiş tərəfi kəsməsi sol yarımmüstəvidə yerləşən bir kökün qazanılması, sağ tərəfdə bir kökün itirilməsi deməkdir. Ştrixləmədən sonra *D* – bölmə sahəsinin işarələnməsini yerinə yetirirlər. Bunun üçün istənilən sahəni seçib onu *m* tərəfi ilə işarə edirlər və bu sahə üçün sağ yarımmüstəvidə köklərin sayının *m* –ə bərabər olduğu hesab edilir. Bu sahədən qonşu sahəyə tərəf hərəkət edərək, əgər *D* – əyrisi ilə kəsişmə ştrixlənmiş tərəfdən ştrixlənməmiş tərəfə baş verirsə sahəni *m* + 1 kimi, əgər kəsmə ştrixlənməmiş tərəfdən ştrixlənmiş tərəfə baş verirsə *m* – 1 kimi qeyd edirlər. Bundan sonra sağ yarımmüstəvidə xarakteristik tənliyin kökünün ən az sayda olan sahəsini seçirlər. Bu sahə dayanıqlıq sahəsinə iddiaçı hesab olunur. Sonda, seşilmiş *K* sahəsinin parametrinin qiymətinin dayanıqlıq sahəsi olduğunu qəti sürətdə müəyyən etmək üçün bu sahədə *K* –nın qymətinin verərək onu xarakterik tənlikdə yerinə yazaraq və əvvəldə baxdığımız hər hansı bir kriteriya ilə tənliyin köklərinin xarakterini yoxlamaq zəruridir. Qeyd etmək lazımdır ki, baxılan halda dayanıqlıq dayanıqlıq sahəsinə iddiaçı *A* nöqtəsi ilan sahədir. *K* –nın yalnız həqiqi qiymətlərinin fiziki mənası vardır. Ona görə də dayanıqlıq haqqında qəti fikir *K* –nın absis oxu üzərində yerləşən qiymətləri üçün söylənilir.

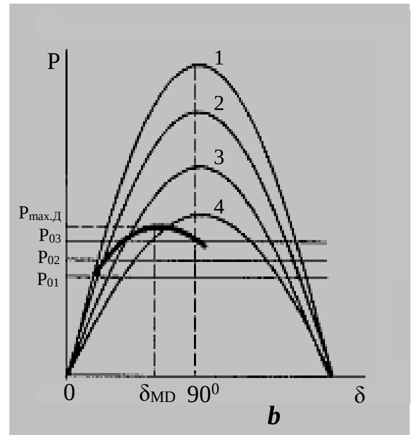
9.11. YÜKÜN STATİK DAYANIQLIĞI

Elektrik sisteminin yükü sinxron generatorların dayanıqlığına təsir edir. Əgər qəbuledici sistemin gücü elektrik verilişinin gücü ilə müqayisə oluna biləndirsə, elektrik verilişinin rejimi dəyişdirildiyi halda yükün şinində gərginlik sabit qalmır. Bu halda ötürülən gücün həddi (h ə q i q i h ə d d adlanan) yükün şinində gərginliyin sabit olduğu haldakı həddən xeyli aşağı olur. Digər tərəfdən, yükün şinində gərginliyin dəyişməsi yükün tərkib hissələri olan sinxron və asinxron mühərriklərin dayanıqlığını, yəni yükün özünün dayanıqlığını poza bilər.

9.11.1. Gücün həqiqi həddi

Qəbuledici sistem – yük və yerli elektrik stansiyaları kimi təqdim olunmuş elektrik verilişi sxeminə baxaq (şəkil 9.14, *a*). Yerli stansiyanın gücü ötürücü stansiyanın gücü ilə müqayisə olunan həddədir. Ona görə də G_1 elektrik stansiyasından verilən aktiv güc artırıldıqda yükün şinlərində U_y gərginliyi azalacaqdır. Burada U_y – yük gərginliyidir. U_y gərginliyinin müxtəlif qiymətləri üçün güc xarakteristikaları çoxluğunu qurub, gücün həqiqi xarakteristikasını almaq olar. Bunun üçün δ bucağını artıran zaman U_y gərginliyinin azalmasına müvafiq olaraq işçi nöqtəni bir xarakteristikadan digərinə keçirtmək lazımdır. Gücün həqiqi həddi adlandırılan, gücün həqiqi xarakteristikasının maksimumu 90^0 –dən kiçik bucaq zamanı alınır (şəkil 9.14, *b*). U_y = const olduqda maksimum qiyməti güc həddindən xeyli aşağıdır. Odur ki, U_y –nin azalması baxılan sistemin statik dayanıqlığını pisləşdirir.





Şəkil 9.14. Gücün həqiqi həddinin təyini üçün:
a – prinsipial sxemi;
b –U_y = 1.0, 0.9, 0.8, 0.7 qiymətlərində güc xarakteristikaları (1–4 əyriləri müvafiq olaraq göstərilən qiymətlərə uyğundur, gücün həqiqi xarakteristikası – qalın xətlə çəkilib)

Yükün U_y gərginliyinə təsiri yükün tənzimləyici effekti ilə təyin olunur, yəni şinlərdə gərginliyin azalması ilə yükün aktiv və reaktiv gücünün azalma dərəcəsi ilə təyin olunur. G_1 stansiyasından verilən aktiv gücün artırılması onun şinlərində gərginliyin azalması ilə müşayət olunur. Bu zaman nəzərdə tutulur ki, G_1 stansiyasının şinlərində gərginlik sabit saxlanılır. Lakin U_y gərginliyinin azalması ilə yüklərinin istifadə etdikləri P_y və Q_y gücləri də azalır. Xətlə ötürülən gücün azalması isə elektrik verilişinin elementlərində gərginlik düşgüsünü azaldır ki, bu da öz növbəsində, verilən gücün artırılması zamanı U_y gərginliyinin azalma dərəcəsini azaldır. Yükün tənzimləyici effekti statik xarakteristikanın işçi nöqtəsində dP/dU və dQ/dU törəmələri ilə qiymətləndirilir. Tənzimləyici effekt gücün həqiqi həddinə xeyli təsir edir və dayanıqlığın praktiki hesabatlarında onunla hesablaşmaq lazım qəlir.

9.11.2. Mühərrik yüklərinin statik dayanıqlığı

Sinxron və asinxron mühərriklərdə dayanıqlığın səviyyəsi çox yüksək dərəcədə onların sıxaclarında olan gərginliklə təyin olunur.

Elektrik sisteminin yükünü əsas hissəsini təşkil edən *asinxron mühərrikləri* gərginliyin xeyli aşağı düşməsindən tomuzlanaraq dayanırlar (çevrilirlər). Şəkil 2.25, *b* –də asinxron mühərrikin əvəz sxemi verilibdir. Həmin sxemdə polladdakı aktiv güc, həmçinin statorda aktiv itkilər nəzərə alınmamışdır. Şəbəkədən mühərrikin qəbul etdiyi güc fırladıcı momentin və mühərrikin maqnit selinin fırlanma bucağının sürətinə hasili kimi təyin edilir. Qidalandırıcı şəbəkənin tezliyi dəyişmədiyi halda mühərrikin istənilən sürüşməsi zamanı onun bucaq sürəti sabit qalır, ona görə də mühərrikin fırlanma momenti onun aktiv gücünə mütənasibdir. Nisbi vahidlərdə mühərrikin fırladıcı momentini onun istifadə etdiyi aktiv gücə bərabər qəbul edirlər.

Aktiv gücün sürüşmədən asılılığı aşağıdakı formula ilə təyin olunur:

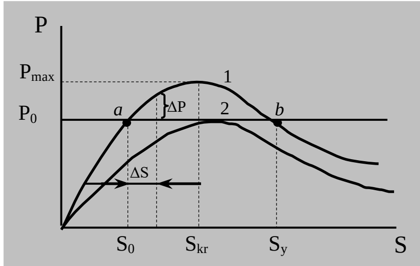
$$P = I^2 R_2 / S = \frac{U^2}{x_S^2 + (R_2/S)^2}\frac{R_2}{S} = \frac{U^2 R_2}{x_S^2 S^2 + R_2^2} S. \qquad (9.27)$$

Bu asılılıq mühərrikin məlum güc xarakteristikasını yaxud fırladıcı momentini verir (şəkil 9.15). Bu xarakteristikanın maksimumu (9.27) ifadəsinin sürüşməyə görə götürülmüş törəməsi ilə təyin olunur:

$$\frac{dP}{dS} P = U^2 R_2 \frac{R_2^2 - x_S^2 S^2}{\left(R_2^2 + x_S^2 S^2\right)^2} = 0.$$

Bu ifadədən görünür ki, mühərrikin maksimum gücünə $R_2^2 - x_s^2 S^2 = 0$ şərti yerinə yetirildiyi halda nail olmaq olar. Buradan kritik sürüşmə $S_{kr} = \pm R_2 / x_s$ bərabərliyindən, maksimum moment isə aşağıdakı kimi təyin olunur:

$$R_{max} = U^2 / 2x_s \quad (9.28)$$



Şəkil 9.15. U = 100, 70 % olan hallarında asinxron mühərrikin qərarlaşmış iş rejimi (*1, 2* əyriləri *U* faizlərinə müvafiq olaraq)

Fərz edək ki, tormozlama momentin xarakteristikası sürüş – mədən asılı deyil və absis oxuna paraleldir (şəkil 9.15). Mühərrikin qərarlaşmış iş rejimi mühərrikin moment və tormozlama momenti xarakteristikalarının iki kəsişmə nöqtəsində: *a* və *b* nöqtələrində mümkündür. *a* nöqtəsində mühər – rikdə sürüşmənin ΔS artımı mühərrikin fırladıcı momentini ΔP qədər artırır və mühərrikin valında sürətləndirici izafi momentyaranır ki, onun təsiri altında sürət artmağa başlayır, sürüşmə isə azalır. Bunun nəticəsində *a* nöqtəsində qərarlaşmış rejim yaranır. Əgər mühərrik S_y (*b* nöqtəsi) sürüşməsi ilə işləyirsə sürüşmənin artması zamanı mühərrikin valında tormozlayıcı izafi moment yaranır ki, o sürüşmənin artımını davam etdirir və nəticədə mühərrik dayanır.

Mühərrikin statik dayanıqlığının kriteri törəmənin ödənilməsi yəni işarəsinin müsbət olmasıdır.

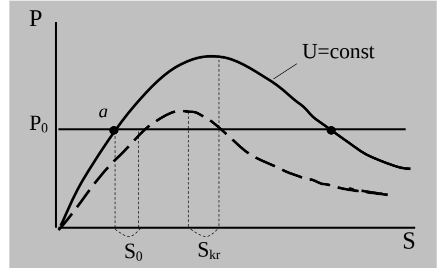
$$\frac{dP}{dS} > 0$$

Mühərrikin rejiminin statik dayanıqlıq üzrə son həddi xarakteristikanın maksimumunda S_{kr} nöqtəsində əldə olunur.

Mühərrikin sıxaclarında nominal gərginlik olduqda onun maksimal gücü nominal gücündən təqribən iki dəfə çox olur. Gərginlik aşağı düşdükcə mühərrikin elektromaqnit gücünün qiyməti kvadratik asılılıq üzrə aşağı düşür. Gərginliyin qiymətinin təqribən 30 % aşağı düşdükdə maksimal güc nominala yaxınlaşır. Qərarlaşmış rejimlərdə gərginliyin qiymətinin belə səviyyədə aşağı düşməsi yol verilməzdir. Ona görə də əgər mühərrik qoşulan nöqtədə gırginliyə qəbul olunmuş standartlara uyğun nəzarət olunursa və o, lazımi səviyyədə saxlanılırsa, onun statik dayanıqlığına görə problem olmur. Mühərrik yuxarıda göstərilən nöqtəyə xarici müqavimət vasitəsilə qoşulduqda başqa vəziyyət yaranır. Belə müqavimətə mühərrikin şəbəkəyə qoşulduğu kabel malik ola bilər. Əvəz sxeminin x_μ

müqaviməti nəzərə alınmadıqda mühərrikin çevirici (aşırıcı) momenti (9.28) formulası üzrə tapila olar:

$$R_{\max} = U^2 / 2(x_S + x_{xar}).$$



Şəkil 9.16. Xarici müqavimətin güc xarak – teristikasına təsiri (ştrixli əyri xarici müqa – vimətin nəzərə alınması ilə qurulub).

Xarici müqaviməti nəzərə almaqla güc xarakteristikasının dəyiş–məsi şəkil 9.16 –da göstərilib. Xarici müqavimətin nəzərə alınması ilə dayanıqlıq ehtiyatı xeyli aşağı düşür. Xarici müqavimətin böyük qiymət –lərində elə rejimlər ola bilər ki, həmin rejimlərdə gərginliyin kiçik azalması (buraxıla bilən həddə) asinxron asinxron mühərrikin statik daynıqlığı-nın pozulmasına səbəb ola bilər.

Sinxron mühərriklərin statik dayanıqlığı sinxron generatorun statik dayanıqlığında olduğu kimi $dP/d\delta > 0$ kriteri ilə qiymətləndirilir. TAT qurğusu olmayan hallarda maksimal güc və kritik gərginlik aşağıdakı formulalarla təyin olunur:

$$P_{\max} = \frac{E_q U}{x_d + x_{xar}}, \qquad U_{kr} = \frac{P_0 (x_d + x_{xar})}{E_q},$$

burada x_{xar} – mühərrikin U gərginlikli şinə qoşulduğu naqilin (kabelin) müqavimətidir;

P_0 – mühərrikin dayanıqlığının qiymətləndirildiyi rejimdə istifadə etdiyi gücdür.

Əgər mühərrik proporsional tipli TAT qurğusu ilə təhciz olunubsa o hesabatlarda (sinxron generatora analoji olaraq) $E' = \text{const}$ EHQ və x'_d müqaviməti ilə təqdim olunur. Bu halda kritik gərginlik aşağıdakı formula ilə təyin olunur:

$$U'_{kr} = \frac{P_0 (x'_d + x_{xar})}{E'},$$

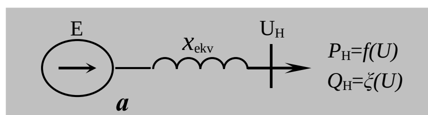
Bu gərginlik, $x'_d < x_d$ olduğu üçün, hər zaman U_{kr} gərginliyindən kiçik olur.

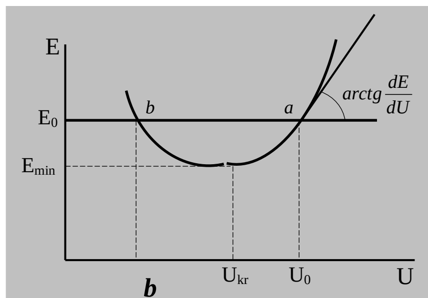
9.11.3. Yükün dayanıqlığının (köməkçi) əlavə kriteriləri

Elektrik sisteminin yükü müxtəlif növ işlədicilərdən ibarətdir və mühərriklər onların tərkibinin müəyyən hissəni (əksər hallarda xeyli hissəni) təşkil edir. *dP/dS* > 0 kriterinin tətbiq olunması əksər hallarda ekvivalent mühərrikin parametrlərini dəqiq təyin etmək mümkün olmadığından çətinləşir. Bu yükün statik xarakteristikaları üzrə onun dayanıqlığını qiymətləndirməyə imkan digər kriteriləri axtarmağa məcbur etmişdir (şəkil 2.22, 2.23 –ə bax).

Belə kriterilərdən biri sistemin yükünü qidalandıran generatorun EHQ –sinin gərginliyə görə törəməsinin işarəsidir, *dE/dU* > 0. Bu törəmə xarakteristikasına toxunanın əmələ gətirdiyi bucaqla təyin olunur. $E = f(U)$ funksiyası yükün statik xarakteristikasının köməyi ilə qurulur. Yüküün istənilən qidalanma sxemini şəkil 9.17, *a* –da göstərilən şəkilə gətirmək olar.

Tutaq ki, ilkin rejimdə ekvivalent EHQ E_0 –a, yükün gərginliyi isə U_0 –a bərabərdir. Şinlərdə gərginliyi azaldaraq statik xarakteristika üzrə bu gərginliyə uyğun olan aktiv və reaktiv güclərin yeni qiymətlərini təyin edə bilərik. Sonra sxemin (şəkil 9.17, *a*) rejimini hesablayaraq *E* –nin yeni qiymətini təyin edirlər. Gərginliyin bir neçə qiyməti üçün bir sıra hesabatlar apararaq $E = f(U)$ asılılığını (şəkil 9.17, *b*) qurmaq olar. $E = f(U)$ xarakteristikasında *E* EHQ–si üçün generatorun iki rejimi (*a* və *b* nöqtələrində) mümkündür. *a* nöqtəsində $dE/dU > 0$, *b* nöqtəsində isə bu törəmə sıfırdan kiçikdir – $dE/dU < 0$. $E = f(U)$ xarakteristika –sının hərbir nöqtəsində U gərginliyi –nin azalması ilə ona müvafiq olan sürüşmənin artan qiyməti uyğundur. Əgər asinxron mühərrikin güc xarakteristikasına (şəkil 9.15 –ə bax) qayıtsaq nəticə çıxarmaq olar ki, $E = f$ (U) asılılığında ən kiçik sürüşməyə uyğun olan *a* nöqtəsi yükün dayanıqlı iş rejiminin, *b* nöqtəsi isə dayanıqsız iş rejiminin nöqtəsidir. Son hədd rejimi $E = f(U)$ –da *E* EHQ –sinin E_{min} nöqtəsi ilə təyin olunur, burada $dE/dU = 0$. Bu halda yükün gərginliyə görə dayanıqlıq ehtiyatı aşağıdakı formula ilə hesablanır:





Şəkil 9.17. Yükün əlavə kriteri $dE/dU > 0$ –nin təyini üçün: *a* – yükün qoşulmasının prinsipial sxemi; *b* – *dE/dU* kriterinin təyini

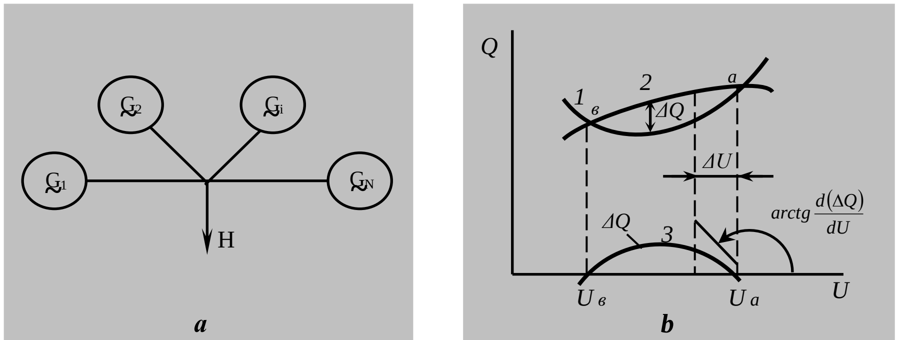
$$K_{eh} = \frac{U_0 - U_{kr}}{U_0} 100\%.$$

Yükün qoşulduğu ümumi düyün nöqtəsi ilə birləşdirilmiş elektrik stansiyaları qrupundan ibarət olan elektrik sistemində (şəkil 9.18, *a*) yükün dayanıqlığının hesabatı zamanı zamanı aşağıdakı kriteridən istifadə istifadə etmək əlverişlidir:

$$\frac{d\Delta Q}{dU} < 0. \qquad (9.29)$$

burada $\Delta Q = \Sigma Q_G - \Sigma Q_Y$.

Şəkil 9.18, *b* –də ekvivalent generatorun və yükün reaktiv gücünün xarakteristikası göstərilmişdir. Generatorun reaktiv gücünün xarakteristikası generatorun EHQ –sinin dəyişmədiyi və generatorun aktiv gücünün yükün aktiv gücünə ($P_G = P_Y$) müvafiq dəyişməsi şərtində alınan gərginlik zamanı hesablana bilər. Bu zaman yükün gücü $P_Y = f(U)$ statik xarakteristikası üzrə hesablanır. Reaktiv gücün xarakteristikasının mümkün iş rejimini təyin edən iki kəsişmə nöqtəsi vardır: *a* və *b* nöqtələri. Bu nöqtələr aydındır ki, mühərrikin güc xarakteristikasında olan eyni adlı nöqtələrlə üst – üstə düşür (şəkil 9.15 –ə bax).



Şəkil 9.18. Yükün əlavə kriteri *dΔQ/dU<0* –nin təyin üçün:
a –yükün qoşulmasının prinsipial sxemi;
b – generatorun və yükün reaktiv güc xarakteristikaları ($Q_{\Sigma Y}$–əyri 1, $Q_{\Sigma G}$–əyri 2, ΔQ–əyri 3)

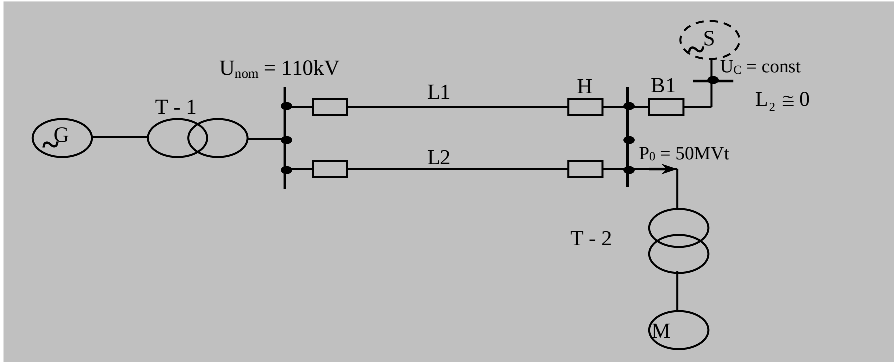
Böyük gərginliyə (müvafiq olaraq kiçik sürüşməyə) uyğun olan *a* nöqtəsi dayanıqlı işləmə nöqtəsidir, *b* nöqtəsi isə dayanıqsızdır. Əgər ilkin iş rejimi

dayanıqlıdırsa və *a* nöqtəsi ilə təyin olunursa onda yükə bir qədər ΔQ reaktiv güc istifadə edən induktiv keçiricilik qoşulduqda onun gərginliyi ΔU qədər azalacaqdır. Bu zaman müsbət ΔQ –yə mənfi ΔU uyğun olur ki, o da (9.29) kriteri ilə təsdiqlənir.

M ə s ə l ə 9.2. Uzaqda yerləşən G su elektrik stansiyası 110kV –luq iki dövrəli xətlə yarımstansiyanın işlədicilərini qidalandırır. H yarımstansiyasının yükü bir ekvivalent asinxron mühərrik şəkilində verilib. O, aşağıda göstərilən şəkildə verilmiş sxemdə yarımstansiyanın T – 2 transformatorun ikinci tərəf şininə birləşdirilib. Yarımstansiyanın 110 kV – luq şini qısa L2 xətti ilə qəbuledici sistemin şininə birləşdirilib. Xəttin uzunluğunun kiçik olduğundan müqavimətini nəzərə almamaq olar. Belə əlaqənin olması zamanı gərginlik Uy = Uc = const olur və ötürmənin və mühərrikin rejimlərindən asılı deyildir.

Normal ilkin rejimdə L2 xətti ilə (A1 açarı vasitəsilə) aktiv və reaktiv güc axını sıfıra bərabərdir və və bu əlaqə ehtiyatlamaya xidmət edir. Sxemin parametrləri şəkildə verilibdir, burada generatorun, transformatorların və mühərrikin nisbi vahidlərdə müqavimətləri S_b = 62,5 MVA və U_b = 110kV zamanı verilmişdir və $S_G = S_{T1} = S_{T2} = S_M$ = 62,5 MVA – a bərabərdir.

Sxemin parametrləri:
Generator: P_{nom} = 50 MVt, cosφ = 0.8, x_d = 1.1, x'_d = 0.3.
Transformatorlar: $S_{T1} = S_{T2} = S_G$, $x_{T1} = x_{T2}$ = 0,1.
Xətt: L1 = L2 = 95 km, x_0 = 0.41 Om/km, $x_{L1} = x_{L2}$ = 0,2.
Asinxron mühərrik: x_S = 0.2, R_2 = 0.03, $S_M = S_G$.



T ə l ə b o l u n u r: 1) U_{kr} – kritik gərginliyi tapmalı, yəni elə bir gərginliyi ki, H yarımstansiyanın şinlərində həmin gərginlik zamanı ekvivalent mühərrikin çevrilməsi (aşırılması) baş verəcəkdir. 2) U_H = 1(S_0) və U_{kr} - kritik gərginliyə müvafiq gərginlik, yəni S_{kr} – kritik sürüşmə zamanı mühərrikin normal sürüşməsini təyin etməli; 3) normal gərginlik zamanı mühərrikin P_{max} – maksimal (çevirici) momentini tapmalı; 4) güc və sürüşmə üzrə dayanıqlıq ehtiyatını tapmalı. Hesab zamanı ehtimal olunur ki, mühərrikin mexaniki yükü sürüşmədən asılı deyil.

H ə l l i. Mühərrikin sərf etdiyi güc təqribi olaraq aşağıdakı kimi təyin olunur:

$$\mathrm{P} = \frac{\mathrm{U}^2}{x_\Sigma^2 + \left(R_2/S\right)} \frac{R_2}{S},$$

$$U = \sqrt{P_0\left(R_2^2 + x_\Sigma^2 S^2\right)/R_2 S},$$

burada x_Σ – mühərrikin x_S – müqavimətlərinin və gərginliyi dəyişməz qəbul edilən nöqtəyə qədər olan müqavimətin cəmidir.

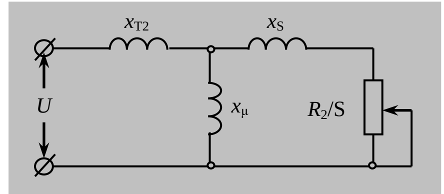
Bizim halda $x_\Sigma = x_S + x_{T2} = 0,2 + 0,1 = 0,3$. x_Σ – in alınmış qimətindən istifadə edərək bizi maraqlandıran bütün qiymətləri tapa bilərik.

Kritik gərginlik

$$\mathrm{U_{kr}} = \sqrt{2P_0 x_\Sigma} = \sqrt{2\frac{50}{62.5}0.3} = \sqrt{0.48} = 0.693 \approx 0.7.$$

S – sürüşməsinə nəzarən güc tənliyini həll edib U = 1 qiymətində mühərrikin normal S_0 sürüşməsini taparıq:

$$\mathrm{P_0} = U^2 R_2\ S / R_2^2 + x_\Sigma^2 S^2$$



və ya

$$\mathrm{P_0} x_\Sigma^2 S^2 - U^2 R_2\ S + \mathrm{P_0} R_2^2 = 0$$

buradan

$$S^2 - \frac{U^2 R_2}{\mathrm{P_0} x_\Sigma} S + \frac{R_2^2}{x_\Sigma^2} = 0, \quad S^2 - \frac{1^2 \cdot 0.03}{0.8 \cdot 0.3^2} S + \left(\frac{0.03}{0.3}\right)^2 = 0, \quad S^2 - 0.416\mathrm{S} + 0.01 = 0$$

$$S_{1,2} = 0.208 \pm \sqrt{0.0436 - 0.01} = 0.208 \pm 0.1822; \quad S_1 = 0.0258 \approx 2.6\%, \quad S_2 = 0.3902 \approx 39\%,$$

yəni mühərrikin normal sürüşməsi S_0 = 2.6 %. Kökün alınmış ikinci qiyməti xarakteristikanın dayanıqsız hissəsinə uyğundur.

Mühərrikin kritik sürüşməsi

$$\mathrm{S_{kr}} = R_2 / x_\Sigma = 0.03/0.3 = 0.1 \quad \text{və ya} \quad \mathrm{S_{kr}} = 10\%.$$

U = 1 olduqda maksimal çevirici moment

$$\mathrm{P_{max}} = U^2 / 2x_\Sigma = 1.0/2 \cdot 0.3 = 1.67.$$

Momentə görə ehtiyat

$$k_p = \frac{P_{max} - P_0}{P_0} = \frac{1.67 - 0.8}{0.8} = 1.09.$$

Sürüşməyə görə ehtiyat

$$k_S = \frac{S_{max}^/ - S_0^/}{S_0^/} = \frac{10 - 2.6}{2.6} = 2.85.$$

9.12. STATİK DAYANIQLIĞIN ANALİZİ ÜÇÜN NORMATİV VƏ METODİK GÖSTƏRİŞLƏR

Dayanıqlığın analizi dövrü olaraq nəşr olunan rəhbər göstərişlərə müvafiq yerinə yetirilir. Bu göstərişlərdə en kəsikdən enerji axını anlayışı daxil edilir, yəni sistemin hər hansı iki elementini birləşdirən (əlaqələndirən) açılan elementlərdən axan enerji. Belə əlaqənin qırılması sistemi bir – birindən izalə olunmuş iki hissəyə bölür. Qərarlaşmış rejim zamanı en kəsikdən axan enerjini normal, ağırlaşdırılmış, məcburi axınlara bölürlər.

Ağırlaşdırılmış enerji axınına zəruri güc ehtiyatı olmaması, istilik və atom elektrik stansiyalarının avadanlıqlarının kifayət qədər manevr etmə qabiliyyəti olmaması, həmçinin elektrik stansiya və şəbəkələrinin əsas avadanlıqlarının planlı və qəza təmirlərinin arzu olmayan üst – üstə düşməsi hallarında yol verilir.

Məcburi enerji axınına istehlakçıların məhdudiyyətinin aradan qaldırıldığı, su ehtiyyatlarının itirilməsi, enerji ehtiyatlarına qənaət olunması, həmçinin AES–lərin kifayət qədər manevr etmə qabiliyyətinin olmaması və enerji axınının azaldılmasının mümkün olmadığı hallarında yol verilir.

Rejimin statik dayanıqlığının ehtiyatı keyfiyyətcə, dayanıqlığın aperiodik və ya rəqsi pozulmasının yarandığı sahənin sərhəddinə müvafiq olan iş rejiminin yaxınlığı ilə təyin olunur.

Ehtiyat kəmiyyətcə sistemin *P* en kəsiyində aktiv güc axınına görə K_P və yük düyünündə gərginliyə görə K_U ehtiyat əmsalı ilə xarakterizə olunur. Bu əmsallar aşağıdakı cədvəldə verilmişdir.

En kəsikdə cərəyan axını	Extiyatın manimal əmsalları	
	Aktiv güc üzrə	Gərginlik üzrə
Normal	0.20	0.15
Ağırlaşdırılmış	0.15	0.15
Məcburi	0.08	0.10

Aktiv güc üzrə ehtiyat əmsalı aşağıdakı kimi təyin olunur

$$K_P = \frac{P_{max} - P - \Delta P}{P_0},$$

burada ΔP – en kəsikdə aktiv gücün qeyri – müntəzəm rəqsi hesabına ötürülən gücün artımını nəzərə alır.

Qeyri – müntəzəm rəqslərin amplitudu ölçmələrin nəticələrinə görə müəyyən olunur və aşağıdakı ifadə ilə təyin oluna bilər:

$$\Delta P = K\sqrt{\frac{P_{y1}P_{y2}}{P_{y1}+P_{y2}}},$$

burada P_{y1}, P_{y2} – baxılan en kəsiyin tərəflərində yükün cəmi gücüdür, MVt –la;
K əmsalı gücün əl ilə tənzimlənməsi zamanı 1,5 –ə və tezliyin və gücün avtomatik tənzimlənməsi zamanı 0.75 –ə bərabər qəbul olunur.

Yük düyünündə gərginliyə görə ehtiyat əmsalı aşağıda verilən formula ilə təyin olunur:

$$K_U = \frac{(U - U_{\text{kr}})}{U},$$

burada U – ilkin rejimdə yük düyününün gərginliyi;
U_{kr} – düyünün kritik gərginliyidir və bunun qiyməti ən azı 0,7 U_{nom} və 0.75U_{nor} (U_{nor} – normal rejimdə düyündəki gərginlikdir) qəbul edilir.

Dayanıqlıq ehtiyatı enerjisistemin rejiminin ardıcıl olaraq ağırlaşdırılması ilə təyin olunur. Rejimin ağırlaşdırılması və en kəsikdə enerji axınının son həddinin hesabatı, eyni adlı en kəsikdə enerji axınının son həddinə çatmağa mane olan istənilən qurğunun açılması fərz edilərək yerinə yetirilir (enerji axınının avtomatik olaraq məhdudlaşdırılması, əks – qəza avtomatikası və s.). Enerji axınının son hədd qiyməti, bütün avadanlıqların 20 dəqiqə müddətində ifrat yüklənilməsinin yol verilməsi nəzərə alınmaqla təyin olunur.

9.13. ENERJİSİSTEMİN İLKİN REJİMİNİN AĞIRLAŞDIRILMASI

Rejimin ağırlaşdırılmasının aşağıda verilən üsulları və ya onların kombinasiyası tövsiyyə olunur [4]:

1) elektrik stansiyaları arasında aktiv güclərin yenidən paylanması;
2) daha çox yüklənmiş düyün yarımstansiyalarının yükünün artırılması;
3) sistemin düyünlərində gərginliyin azaldılması.

Birinci üsul tərkibində uzunluğu böyük olan yaxud daha çox yüklənmiş elektrik verilişi xətti olduqda tətbiq olunur. Bu üsul baxılan xəttin ötürmə qabiliyyətini təyin etməyə imkan verir. Aperiodik dayanıqlığı qiymətləndirmək üçün $dP/d\delta > 0$ kriterindən istifadə olunur.

Hər bir sistem üçün ötürücü və balanslaşdlrıcı stansiyaların (yaxud onların qrupu) seçilir, o hesabla ki, artan aktiv güc axını tədqiq olunan istiqamətdə olan elektrik verilişi xətti ilə yaxud müəyyən en kəsiklə keçsin. Bununla yanaşı

ağırlaşdırılan rejimin bu trayektoriyasının ehtimalının baxılan enerjisistemin üçün nə qədər mümkün olduğunu nəzərə almaq lazımdır.

Bir yerə toplanmış sistemlərin (generasiya stansiyaları və büyük güclü yük düyünləri bir – birinə yaxın yerləşir) rejimlərinin ağırlaşdırılması zamanı qəbuledici sistemin əsas düyünlərinin yükünün ağırlaşdırılmasına və ya düyün nöqtələrində gərginliyin aşağı salınmasına baxılır. Bu üsulu yük düyünlərinin statik dayanıqlığının tədqiqində də tətbiq etmək lazımdır. Hər iki halda son hədd rejimi xarakteristik tənliyin sərbəst üzvünün işarəsi üzrə yaxud praktiki kriteri üzrə təyin edilir:

$$\frac{d\Delta Q}{dU} < 0 \quad \text{və ya} \quad \frac{dE}{dU} > 0.$$

Layihə hesabatlarında ardıcıl ağırlaşdırma rejimlərində, avadanlıqların bir hissəsinin ifrat yüklənməsinə yol verilir, lakin, əgər dayanıqlığın son həddinə yaxınlaşma zamanı ifrat yüklənmə yol veriləndən bir neçə dəfə çox olursa, bu seçilmiş ağırlaşdırıcı üsulun qəbuledilməz olduğunu bildirir. Məhdudiyyətin qeydiyyatının vacibliyi haqqında sualı hesabatın layihə, tədqiqat və ya istismar məqsədləri üçün aparılıdığını təyin etməkləhəll etmək lazımdır.

Layihə hesabatlarında bir sıra məhdudiyyətləri nəzərə almamaq olar, çünki çox zaman bəzi amillər: sistemdə ehtiyatın yerləşdirilməsi, ifrat yükləmənin dəqiq parametrləri və s. məlum olmur. İstismar məsələlərini həll etmək üçün uzun müddətli istismar məhdudiyyətləri zamanı dayanıqlığı yoxlamaqla rejimlərin bir sıra (seriya) hesabatını yerinə yetirmək lazımdır. İstismar məhdudiyyətləri dedikdə maşınların və şəbəkə elementlərinin istilik rejimləri, sistemin göstərilən nöqtəsində gərginliyin səviyyəsi, bəzi elektrik verilişi xətlərində arzu olunan enerji axını, sinxron maşınların malik olduqları reaktiv güc və s. ilə əlaqədar olan məhdudiyyətlər başa düşülür. Əgər sistemin dayanıqlıq həddi əldə olunursa, o zaman hesabat dayandırılır. Əgər dayanıqlıq həddi əldə olunmayıbsa, lakin məhdudiyyətlərdən hər hansı biri pozulursa, onda istismar məhdudiyyətlərinin verilmiş həddində rejimlərin hesabatı variasiyası yerinə yetirilə bilər. Əgər bu imkan tükənmişdirsə, onda istismar məhdudiyyəti aradan götürülə bilər və qısamüddətli yol verilən texniki məhdudiyyətlə əvəz oluna bilər.

Texniki məhdudiyyət – bu maşınların və transformatorların qısamüddətli mümkün olan ifrat yüklənməsi, gərginliyin qiymətinin qısamüddətli dəyişməsinin yol verilməsi və s.–dən ibarətdir.

Beləliklə dayanıqlıq ehtiyatının kifayət qədər tam və real qiyməti alınır. Dayanıqlıq ehtiyatı aşağıda verilən rejim parametrləri ilə təyin olunur: yükün, xətdə güc axınının yaxud sistemin düyünündə gərginliyin yol verilən dəyişikliyi.

YOXLAMA SUALLARI

1. Elektrik sisteminin statik, dinamik və yekun dayanıqlığı nə deməkdir?
2. Ötürmə gücünün həddinə görə sistemin elementinin yük ötürmə qabiliyyəti nə deməkdir?
3. Elektrik sisteminin dayanıqlığının hesabatının məsələləri və məqsədi hansılardır?
4. Elementar və mürəkkəb sistemin statik dayanıqlığı necə qiymətləndirilir?
5. TAT qurğusu statik dayanıqlığa necə təsir edir?
6. Özünəyırğalanma nə deməkdir?
7. Məxsusi və qarşılıqlı keçiriciliyin fiziki mahiyyəti nədən ibarətdir?
8. Yükün statik dayanıqlığı hansı kriterilərlə qiymətləndirilir?

F ə s i l 10

DİNAMİK DAYANIQLIQ

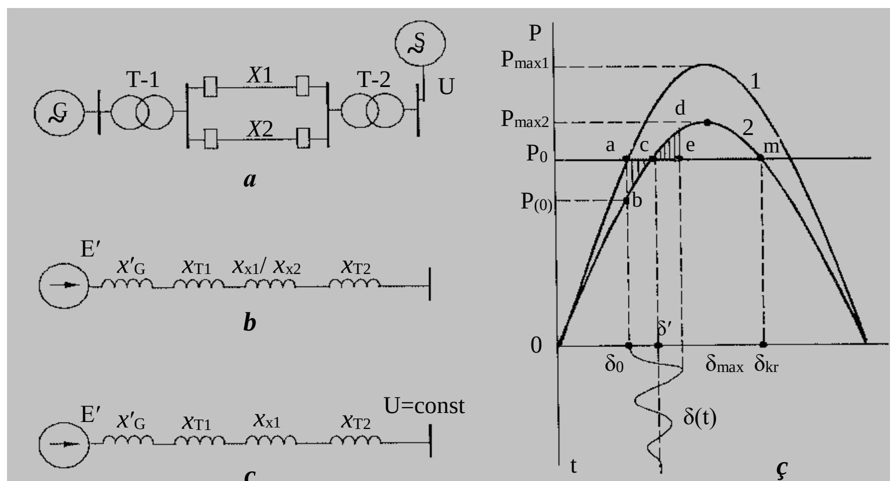
Əgər statik dayanıqlıq sistemin qərarlaşmış rejimini xarakterizə edirsə, dinamik dayanıqlığın analizi sistemin böyük həyəcanlanmalardan sinxron iş rejimini saxlama qabiliyyətini aşkar edir. Böyük həyəcanlanmalar müxtəlif qısaqapanmalar, elektrik verilişi xəttinin, generatorların, transformatorların və s. açılması zamanı yaranır. Böyük həyəcanlanmalara həmçinin böyük yüklərin gücünün dəyişdirilməsi, hər hansı bir generatorun təsirlənməni itirməsi, böyük güclü mühərriklərin qoşulması da aiddir. Yaranan həyəcanlanmaların nəticələrindən biri generatorların rotorlarının fırlanma sürətlərinin sinxron surətdən meyletməsidir (sistemin generatorlarının rotorlarının yırğalanmasıdır).

Əgər hər hansı bir həyəcanlanmadan sonra rotorların qaşılıqlı bucaqları müəyyən bir qiymət alarsa (onların rəqsi hər hansı bir yeni qiymətin yaxınlığında sönəndirsə), onda hesab olunur ki, dinamik dayanıqlıq təmin olunur. Əgər hər hansı bir generatorun rotoru statorun sahəsinə nəzarən dönməyə başlayacaqsa, bu dinamik dayanıqlığın pozulmasının əlamətidir. Ümumi halda sistemin dayanıqlığı haqqında generatorların rotorlarının hərəkət tənliklərinin birgə həlli nəticəsində alınmış $\delta = f(t)$ asılılığına görə fikir söyləmək mümkündür. Lakin, dinamik dayanıqlığın analizinin energetik yanaşmaya əsaslanan daha sadə və əyani metodu mövcuddur, o qrafik metod və ya sahələr metodu [15, 24, 35] adlanır.

10.1. QRAFİK METODLA ELEMENTAR SİSTEMİN DİNAMİK DAYANIQLIĞININ ANALİZİ

Sonsuz güc şininə ikidövrəli xətt vasitəsilə işləyən G elektrik stansiyası kimi sadə bir hala baxaq (şəkil 10.1, *a*). Sistemin şinlərində gərginliyin sabit olma (U = const) şərti qəbuledici sistemin generatorlarının yırğalanmasını istisna edir və dinamik dayanıqlığının analizini xeyli sadələşdirir. Sistemin əvəz sxemi şəkil 10.1, *b* –də göstərilib. Əvəz sxeminə generator x'_d müqaviməti və E'_q EHQ –si ilə daxil edilib. Generatorun sistemə verdiyi güc turbinin gücünə bərabərdir və P_0 ilə işarələnmişdir, generatorun bucağı – δ_0 –la işarələnib. Normal (qəzaya qədərki) rejiminə müvafiq olan güc xarakteristikası ikinci harmonika nəzərə alınmadan (9.10) ifadəsindən alına bilər ki, praktiki hesabatlarda tamamilə yol veriləndir. $E'_q = E'$ qəbul edərək güc xarakteristikası üçün aşağıdakı ifadəni alarıq:

$$P = \frac{E'U}{x'_{d\Sigma}} \sin \delta, \qquad (10.1)$$



Şəkil 10.1. Elementar sistemin dinamik dayanıqlığının analizi üçün: *a* – prinsipial sxemi; *b* – normal rejimdə əvəz sxemi; *c* – qəzadan sonrakı rejimdə əvəz sxemi; *ç* – dinamik keçidin qrafiki təsviri: normal və qəzadan sonrakı rejimlərin xarakteristikaları (əyrilər 1, 2 – müvafiq olaraq).

burada $x'_{d\Sigma} = x'_d + x_{T1} + x_{x1} // x_{x2} + x_{T2}$.

Normal rejim üçün $P = f(\delta)$ asılılığı şəkil 10.1, *ç* –də (əyri 1) verilib.

Fərz edək ki. $X2$ xətti qəflətən açılıb. Onun açılmasından sonra generatorun işləməsinə baxaq. Xətt açıldıqdan sonra sistemin əvəz sxemi şəkil 10.1, *c* –də verilib. Qəzadan sonrakı rejimin ümumi müqaviməti $x'_{d\Sigma(\mathbf{q.s})} = x'_d + x_{T1} + x_{x1} + x_{T2}$ normal rejimin ümumi müqaviməti $x'_{d\Sigma}$ –yə nəzarən artacaqdır. Qəzadan sonrakı rejimdə (şəkil 10.1, *ç*, əyri 2) güc xarakteristikasının maksimumunun azalmasına səbəb olacaq. Xəttin qəflətən açılmasından sonra güc xarakteristikası 1 –dən 2 xarakteristikasına keçidi baş verir. Rotorun ətaləti səbəbindən δ bucağı ani olaraq dəyişə bilməz, ona görə də işçi nöqtə *a* nöqtəsindən *b* nöqtəsinə yerini dəyişir.

Xətt açıldıqdan sonra turbinlə generatoru birləşdirən valda turbinin gücü ilə hansı ki, xəttin açılmasından sonra dəyişməmişdir, generatorun yeni gücü arasında olan fərqlə ($\Delta P = P_0 - P_{(0)}$) təyin olunan izafi moment yaranır. Bu fərqin təsiri altında maşının rotoru sürətlənməyə başlayaraq böyük δ bucağı tərəfə hərəkət etməyə başlayır. Bu hərəkət sinxron sürətlə fırlanan rotorun sürəti üzərinə əlavə olunur və rotorun yekun fırlanma sürəti $\omega = \omega_0 + \Delta\omega$ olur,
burada ω_0 – sinxron fırlanma sürəti;
$\Delta\omega$ – nisbi sürətdir.
Rotorun sürətlənməsi nəticəsində işçi nöqtə 2 xarakteristikası üzrə hərəkət etməyə başlayır. Generatorun gücü artır, izafi (sürətləndirici) moment isə ($\Delta P = P_0 - P_{(0)}$) fərqinə mütənasib) azalır. Nisbi sürət Δω artaraq *c* nöqtəsinə çatır. *c* nöqtəsində izafi moment sıfıra bərabər olur, Δω sürəti isə maksimuma çatır. Rotorun ω sürəti ilə hərəkəti *c* nöqtəsində qurtarmır, rotor öz ətalətinə görə bu nöqtəni keçir və hərəkətini davam etdirir. Lakin yaranmış izafi moment işarəsini dəyişir və rotoru tormozlamağa başlayır. Fırlanmanın nisbi sürəti azalmağa başlayır və *d* nöqtəsində sıfıra bərabər olur. δ bucağı bu nöqtədə özünün maksimum qiymətinə çatır. Lakin *d* nöqtəsində də rotorun nisbi hərəkəti qurtarmır, ona görə ki, aqreqatın valına izafi tormozlayıcı moment təsir edir. Odur ki, rotor *c* nöqtəsinə tərəf hərəkət etməyə başlayır və bu zaman nisbi sürət mənfi olur. *c* nöqtəsini rotor öz ətalətinə görə keçir, *b* nöqtəsi yaxınlığında minimum olur və nisbi hərəkətin yeni tsikli başlayır. δ (t) bucağının rəqsi şəkil 10.1, *ç* –də göstərilib. Rəqsin sönməsi rotorun nisbi hərəkəti zamanı enerji itkiləri ilə izah olunur.

İzafi moment və izafi güc arasındakı əlaqə aşağıdakı formula ilə təyin olunur

$$\Delta M = \frac{\Delta P}{\omega},$$

burada ω – rotorun yekun fırlanma sürətidir.

Yırğalanma zamanı ω_0 sürətinə nəzarən sürətin $\Delta\omega$ qədər dəyişməsi çox kiçik olduğundan praktika üçün kifayət qədər dəqiqliklə $\omega \cong \omega_0$ qəbul etmək olar və onda ΔM, ΔP, ω_0 nisbi vahidlərdə ifadə edərək $\Delta M_* = \Delta P/\ \omega_0 = \Delta P_*$ alarıq, çünki $\omega_0 = 1$ –dir. Rotorun yalnız nisbi hərəkətinə və bu hərəkət zamanı yerinə

yetirdiyi işə baxaraq fərz etmək olar ki, rotorun olduqca kişik $d\delta$ bucağı qədər yerdəyişməsi zamanı yaranmış izafi moment $\Delta M/ d\delta$ elementar işi yerinə yetirir. İtki olmayan hallarda bütün iş rotorun nisbi hərəkətinin kinetik enerjisinin dəyişməsinə sərf olunr.

İzafi moment rotorun fırlanmasını sürətləndirən zaman rotorun yığdığı ehtiyat kinetik enerji aşağıdakı formula ilə təyin olunur:

$$F_{sur} = \int_{\delta_0}^{\delta_0'} \Delta P d\delta = f_{abc},$$

burada f_{abc} – şəkil 10.1, *ç* –də *abc* –nin ştrixlənmiş sahəsidir. Tormozlama zamanı kinetik enerjinin dəyişməsi aşağıdakı kimi hesablanır

$$F_{\text{torm}} = \int_{\delta_0'}^{\delta_M} \Delta P d\delta = f_{cde}.$$

Burada f_{abc} və f_{cde} sahələri sürətlənmə tormozlamanın kinetik enerjisinə mütənasibdirlər və sürətləndirmə və tormozlama sahələri adlanırlar.

Tormozlama zamanı rotorun kinetik enerjisi potensial enerjiyə keçir və o $\Delta\omega$ sürəti azaldıqca artmağa başlayır. *d* nöqtəsində kinetik enerji sıfıra bərabər olur və rotorun dönmə bucağının maksimumunu δ_M –i təyin etmək üçün aşağıda verilən şərtin ödənilməsi kifayətdir:

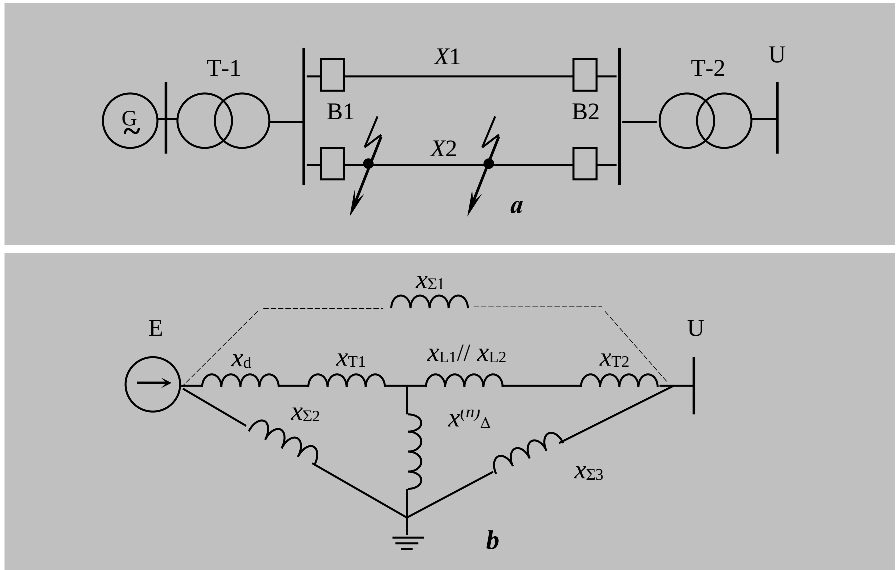
$$F_{\text{sur}} = F_{torm} = 0.$$

Buradan görünür ki, maksimum meyletmə bucağı zamanı sürətləndirmə sahəsinin tormozlama sahəsinə bərabər olmalıdır. Tormozlama sahəsinin maksimum olmasının mümkünlüyü δ_{kr} bucağı ilə təyin olunur. Əgər maksimal bucaq δ_{kr} bucağından çox olarsa, onda tirbin – generator valında sürətləndirici izafi moment ($P_0 > P_G$) yaranır və generator sinxronizmdən düşür. Şəkil 10.1, *ç* –də *cdm* sahəsi sürətlənmənin maksimal mümkün olan sahəsidir. Onu təyin edərək dinamik dayanıqlığın ehtiyatını qiymətləndirmək olar. Ehtiyat əmsalı aşağıdakı formula ilə hesablanır:

$$K_{\text{eh}} = \frac{F_{cdm} - F_{abc}}{F_{abc}} 100\%.$$

10.2. XƏTTƏ QQ ZAMANI DİNAMİK DAYANIQLIQ

Dinamik dayanıqlığın analizinin aparılmasının vacibliyinin əsas səbəblərindən biri, həyəcanlanmanın ən geniş yayılmış növü olan qısaqapanmalardır. L2 xəttinin əvvəlində (şəkil 10.2, *a* – da K1 nöqtəsi) qeyri – simmetrik QQ –nın ümumi halına baxaq. Qısaqapanma rejimi üçün sistemin



Şəkil 10.2. Elementar sistemdə qısaqapanma: *a* – prinsipial sxemi; *b* – K1 nöqtəsində QQ rejimi üçün əvəz sxemi

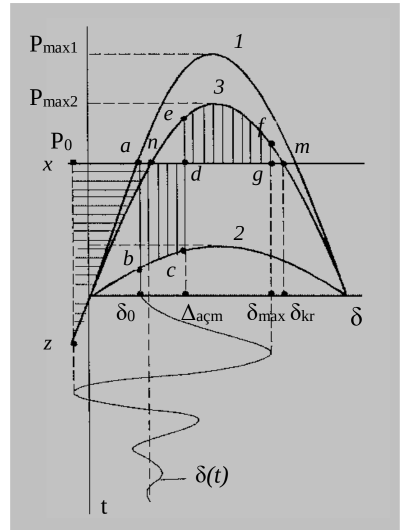
əvəz sxemi şəkil 10.2, *b* –də göstərilib. K1 nöqtəsinə, qeyri – simmetrik QQ cərəyanlarının hesabatı qaydası ilə təyin olunmuş (5 – ci bölməyə bax) $x_{\Sigma 2}$ və $x_{\Sigma 0}$ – əks və sıfır ardıcıllıqlı müqavimətlərin cəmindən ibarət olan $x_{\Delta}^{(n)}$ qısaqapanmanın şuntlayıcı müqaviməti qoşulmuşdur [25]. Qısaqapanma yarandıqdan sonra generatordan sistemə verilən güc, eyni ilə də generatoru sistemlə əlaqələndirən $x_{\Sigma 1}$ ümumi müqaviməti dəyişəcəkdir. Bu müqavimət əvəz sxemindən (şəkil 10.2, *b*) tapıla bilər:

$$x_{\Sigma 1} = \left(x'_d + x_{T1}\right) + \left(x_{x1} // x_{x2} + x_{T2}\right) + \frac{\left(x'_d + x_{T1}\right)\left(x_{x1} // x_{x2} + x_{T2}\right)}{x_{\Delta}^{(n)}}. \quad (10.2)$$

$x_{\Sigma 2}$ və $x_{\Sigma 3}$ müqavimətlərini də oxşar ifadələrdən ulduzdan üç bucağa çevirmə aparmaqla tapmaq olar, lakin onlar qəza rejimində generatorun gücünün qiymətinə təsir etmir və nəzərə alınmaya bilərlər. Güc xarakteristikasının (10.1) ifadəsində $x_{\Sigma 1}$ müqavimətini yerinə qoyaraq normal və qəzadan sonrakı rejimlərin xarakteristikasından aşağıda yerləşən sinusoidanı alarıq. Bu $x_{\Sigma 1}$ müqavimətinin artması ilə əlaqədardır.

QQ anında sxemin parametrlərinin dəyişilməsi səbəbindən güc xarakteristikasının birindən digərinə keçidi baş verir (şəkil 10.3). Rotor müəyyən inersiyaya malik olduğundan δ bucağı ani olaraq dəyişə bilməz və generatorun verdiyi güc P_0 –a qədər azalacaq. Turbinin gücü, onun tənzimləyicisinin gecikməsi səbəbindən dəyişməyəcəkdir. Turbin – generator rotor valında $\Delta P = P_0 - P_{(0)}$ izafi güclə təyin olunan izafi moment yaranır. Bu momentin təsiri altında generatorun rotoru sürətlənməyə başlayır və δ bucağı artır. Proses keyfiyyətcə, bundan əvvəlki halda, xəttin qəflətən açılma halında olduğu kimi qedir.

Elektrik təchizatı sisteminin digər elementində olduğu kimi L2 elementində də mühafizə mövcuddur və müəyyən vaxtdan sonra A1 və A2 açrları ilə açılır. Bu müddət aşağıdakı formula ilə hesablanır:



Şəkil 10.3. Qeri – simmetrik QQ zamanı dinamik keçid

$$t_{acm} = t_{muh} + t_{ac},$$

burada $t_{müh}$ – mühafizənin işləməsinin məxsusi müddəti;

$t_{aç}$ – A1 və A2 açarlarının işləmə müddətləridir (nəzərə tutulur ki, açarlar eyni bir vaxtda işləyirlər).

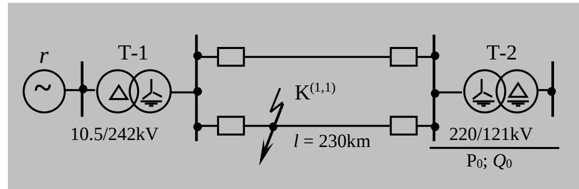
Açma müddəti QQ –nın açılma bucağı $\delta_{aç}$ uyğundur. QQ –nın açılması qəza rejiminin güc xarakteristikası 2–dən, qəzadan sonrakı rejimin 3 – xarakteristikasına keçməsinə səbəb olur. Bu zaman yaranmış izafi moment şarəsini dəyişəcək

sürətləndiricidən tormozlayıcıya çevrilir. Rotor tormozlanaraq sürətləndirmə prosesində yığdığı kinetik enerjinin təsiri altında bucağın artması tərəfə doğru hərəkət etməkdə davam edir. Bu hərəkət o zamana qədər davam edir ki, tormozlama f_{defg} sahəsi sürətləndirmə sahəsinə f_{abcd} –yə bərabər olsun. f nöqtəsində rotorun sürəti sinxron olur. Lakin, rotorun hərəkəti dayanmır, ona görə ki, ona $\Delta P_{torm} = P_f - P_0$ izafi güclə təyin olunan tormozlayıcı izafi moment təsir edir. Rotor sürətlənərək əks tərəfə hərəkət etməyə başlayır. Onun sürəti n nöqtəsində maksimum olur. n nöqtəsindən sonra nisbi sürət azalmağa başlayır və z nöqtəsində sıfıra bərabər olur. İtkilərin səbəbindən rotorun rəqsi qəzadan sonrakı rejimin bərabərliyinin yeni vəziyyəti (n nöqtəsi) ətrafında sönəcəkdir.

M ə s ə l ə 10.1. Şəkildə göstərilən elektrik verilişində K nöqtəsində qəflətən yerlə QQ yaranır. t_1 anında o üçfazalıya keçir, t_2 anında isə zədələnmiş xətt açılır.

İlkin rejimin parametrləri və elektrik verilişinin parametrləri S_b = 220MVA və 220kV pilləsində bazis gərginliyi U_b = 209kV olduqda aşağdakılardır: P_0 = 1, Q_0 = 0,2, U_c = 1, $x'_d = x_{G2}$ = 0,295, x_{T1} = 0,122, x_L = 0,244 (iki dövrə üçün), x_{L0} = 0,732, T_{j*b} = 8,18san.

Təyin etməli:
əgər t_1 zaman anı 50^0 bucağa və $t_2 - 70^0$ bucağa uyğun olarsa, dinamik dayanıqlıq saxlanılacaqmı?



H ə l l i. Normal rejim üçün əvəz sxemini tərtib edək və keçid reaktiv müqavimətindən sonra generatorun EHQ –sini təyin edək.

Sistemin cəmi müqavimətini hesablayaq:

$$\mathbf{x}'_{\mathbf{d\Sigma 1}} = x'_d + x_{T1} + x_L + x_{T2} = 0.295 + 0.138 + 0.244 + 0.122 = 0.799.$$

Keçid müqavimətindən sonrakı keçid EHQ – nin fazasını və qiymətini aşağıdakı formula ilə hesablayaq:

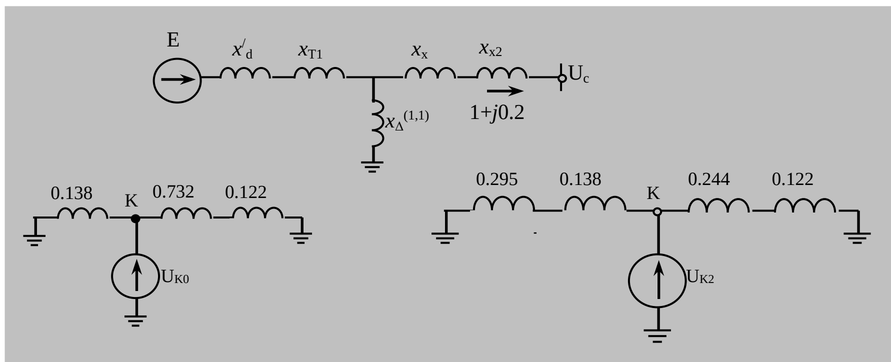
$$E'_0 = \sqrt{\left(U_c + \frac{Q_0 x'_{d\Sigma 1}}{U_0}\right)^2 + \left(\frac{P_0 x'_{d\Sigma 1}}{U_c}\right)^2}.$$

Formulada ədədi qiymətləri yerinə yazsaq, alarıq

$$E'_0 = \sqrt{\left(1 + \frac{0.2 + 0.799}{1}\right)^2 + \left(\frac{1 \cdot 0.799}{1}\right)^2} = \sqrt{1.16^2 + 0.799^2} = 1.41;$$

$$tg\delta'_0 = \frac{0.799}{1.16} = 0.688; \quad \delta'_0 = 34.5^0.$$

Elektrik verilişinin düz, əks və sıfır ardıcıllığının əvəz sxemləri aşağıda verilmişdir



Normal rejim üçün güc xarakteristikasının amplitudunu aşağıdakı ifadədən tapaq

$$P_{max\,11} = \frac{E_0^{/} U_c}{x_{d\Sigma 11}^{/}},$$

burada $x_{d\Sigma 11}$ – qəza rejimində sxemin qarşılıqlı müqavimətidir:

$$x_{d\Sigma 11}^{/} = \left(x_d^{/} + x_{T1}\right) + \left(x_x + x_{T2}\right) + \frac{\left(x_d^{/} + x_{T1}\right)\left(x_x + x_{T2}\right)}{x_\Delta^{(1,1)}},$$

$$x_\Delta^{(1,1)} = \frac{x_{2\Sigma} x_{0\Sigma}}{x_{2\Sigma} + x_{0\Sigma}}$$

burada

$$x_{2\Sigma} = \frac{\left(x_{G2} + x_{T1}\right)\left(x_x + x_{T2}\right)}{x_{G2} + x_{T1} + x_x + x_{T2}}; \quad x_{0\Sigma} = \frac{x_{T1}\left(x_{x0} + x_{T2}\right)}{x_{T1} + x_{x0} + x_{T2}}$$

$$x_{0\Sigma} = \frac{0.138(0.732 + 0.122)}{0.138 + 0.732 + 0.122} = 0.12; \quad x_\Delta^{(1,1)} = \frac{0.198 \cdot 0.12}{0.198 + 0.12} = 0.072,$$

$$x_{d\Sigma 11}^{/} = 0.295 + 0.138 + 0.244 + 0.122 + \frac{(0.295 + 0.138)(0.244 + 0.122)}{0.072} = 2.97,$$

$$P_{\max 11} = \frac{1.41 \cdot 1}{2.97} = 0.47.$$

Qəzadan sonrakı rejim elektrik verilişi xəttinin bir dövrəsinin açılması ilə təyin edilir, bundan sonra x_L ikiqat artırılır və elektrik verilişinin ümumi müqaviməti tapılır:

$$x'_{d\Sigma 111} = 0.95 + 0.138 + 0.488 + 0.122 = 1.04.$$

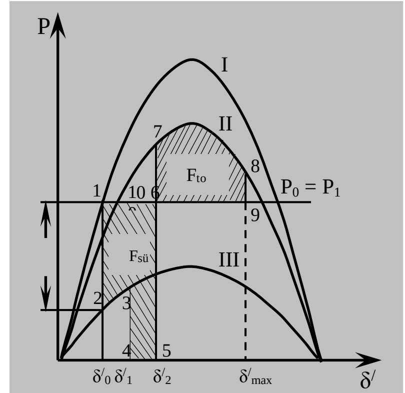
Qəzadan sonrakı rejimin güc xarakteristikasının amplitudu

$$P_{\max 111} = \frac{1.41 \cdot 1}{1.04} = 1.35.$$

Güc xarakteristikası şəkildə verilib.

Sürətləndirmə və tormozlama sahələrini quraq. İkifazalı QQ zamanı generatorun verdiyi gücün III xarakteristikasında 2 nöqtəsinə qədər azalmasını tapırıq. Yranmış $\Delta M_0 \cong \Delta P_0$ artıq momentin təsiri altında generatorun rotoru sürətlənəcəkdir.

Üçfazalı QQ zamanı t_1 anında (δ'_2 bucağına uyğundur) generatorun verdiyi güc sıfıra qədər azalır.Turbinin momentinə bərabər olan tam izafi momentin təsiri altında rotor sürətlənməkdə davam edir.



Xəttin açılmasından sonra t_2 anında (δ'_2 bucağına uyğundur) generatorun verdiyi güc, qəzadan sonrakı rejimin II xarakteristikasına 7 nöqtəsində olan qiymətə qədər artır. Burada generatorun verdiyi elektrik gücü turbinin yaratdığı gücdən çox olur, lakin δ' bucağı rotorun yığdığı enerjidən müvafiq olaraq artmaqda davam edəcək 8 nöqtəsinə (δ_{max}) çatır. Burada sürətlənmə prosesində rotorun yığdığı kinetik enerji onun tormozlanması zamanı tamamilə sərf olunur. Buna sürətlənmə və tormozlama sahələrinin bərabərliyi ($F_{sür}$=F_{tor}) uyğundur. Sonra δ' bucağı azalmağa başlayır. Rotorun bir neçə dəfə yırğalanmasından sonra qəzadan sonrakı rejimin II xarakteristikasına 10 nöqtəsi ilə təyin olunan yeni rejim yaranır.

Tormozlanmanın mümkün olan 6 – 7 – 8 – 9 – 6 sahəsinin sürətlənmənin 1 – 2 – 3 – 4 – 5 – 6 – 1 sahəsinə olan nisbəti dayanıqlıq ehtiyatı əmsalını verir.

10.3. QISAQAPANMANIN AÇILMA BUCAĞININ SON HƏDDİ

10.3 şəkilindən QQ –nın açılma bucağının elə hədd qiymətini tapmaq olar ki, həmin qiymət zamanı sistemin dayanıqlı işi təmin olunur. Həmin qiymət f_{abcd} sürətlənmə sahəsinin və f_{defm} tormozlama sahələrinin bərabərliyindən təyin olunur.

Bu sahələrin cəmini sıfıra bərabər edərək QQ –nın açılma bucağının son hədd qiyməti üçün analitik ifadə alarıq:

$$f_{abcd} = f_{defm} = \int_{\delta_0}^{\delta_{ac.hedd}} \left(P_0 - P_{\max 2}\sin\delta\right)d\delta + \int_{\delta_{ac.hedd}}^{\delta_{kr}} \left(P_0 - P_{\max 3}\sin\delta\right)d\delta = 0.$$

Müəyyən inteqralları açaraq aşağıdakını yaza bilərik:

$$P_0\left(\delta_{ac.hedd} - \delta_0\right) + P_{\max 2}\left(\cos\delta_{ac.hedd} - \cos\delta_0\right) + P_0\left(\delta_{kr} - \delta_{ac.hedd}\right) + \\ + P_{\max 3}\left(\cos\delta_{kr} - \cos\delta_{ac.hedd}\right) = 0.$$

Buradan

$$\cos\delta_{ac.hedd} = \frac{P_0\left(\delta_{kr} - \delta_0\right) + P_{\max 3}\cos\delta_{kr} - P_{\max 2}\cos\delta_0}{P_{\max 3} - P_{\max 2}}. \quad (10.3)$$

$$\delta_{kr} = \pi - \arcsin\frac{P_0}{P_{\max 3}}$$

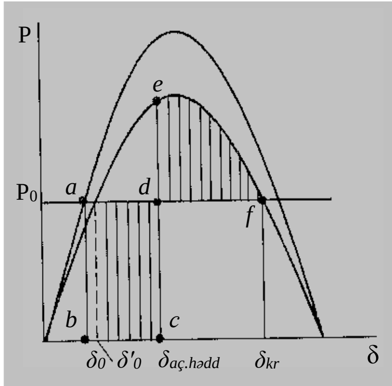
(bütün bucaqlar radianda ifadə olunub).

Lakin praktiki məqsədlər üçün $\delta_{\text{aç.hədd}}$ bucağını bilmək kifayət deyil. Açarın seçilməsi və rele mühafizəsinin hesabatı zamanı bucağı yox, rotorun həmin bucağa çata biləcəyi müddəti, yəni QQ –nın açılma müddətinin yol verilən tənliklərin həllinin məlum metodu ilə generatorun rotorunun hərəkət tənliyini həll etməklə təyin oluna bilər (məs. Runqe – Kuttanın 4 –cü tərtibli (dərəcə) metodu yaxud ardıcıl intervallar metodu ilə təyin etmək olar).

10.4. ÜÇFAZALI QQ –nın QRAFİK METODLA ANALİZİ

K nöqtəsində üçfazalı QQ zamanı sxemin qarşılıqlı müqaviməti son dərəcə böyük olur, ona görə ki, QQ şuntunun müqaviməti $x_\Delta^{(3)} = 0$ –dır. Bununla yanaşı qəza rejiminin güc xarakteristikası absis oxu ilə üst – üstə düşür (şəkil 10.4). Generatorun rotoru turbinin mexaniki momentinə bərər olan izafi momentin təsiri altında özünün nisbi hərəkətinə başlayır. Bu zaman rotorun hərəkətinin diferensial tənliyi aşağıdakı şəkili alır

$$T_j \frac{d^2\delta}{dt^2} = P_0. \qquad (10.4)$$



Şəkil 10.4. Xəttin əvvəlində üçfazalı qısaqa–panma halı üçün

Bu tənlik xəttidir və onu həll etmək çətin deyil. (10.4) tənliyini aşağıdakı şəkildə yazaq

$$\frac{d^2\delta}{dt^2} = \frac{d\omega}{dt} = \frac{P_0}{T_j},$$

buradan, sol və sağ tərəfin inteqralını alsaq

$$\omega = \frac{P_0}{T_j} t + c_1, \qquad (10.5)$$

$t = 0$ olduqda rotorun nisbi sürəti $\omega = 0$ və $c_1 = 0$ olur. Təkrarən (10.5) –i inteqrallasaq, alarıq

$$\delta = \frac{P_0}{T_j}\frac{t^2}{2} + c_2.$$

İnteqrallama sabiti c_2, $\delta = \delta_0$ şərtindən təyin olunur, $t = 0$ olduqda $c_2 = \delta_0$ olur. Bucağın zamandan asılılığının son şəkili aşağıdakı kimidir:

$$\delta = \frac{P_0}{T_j}\frac{t^2}{2} + \delta_0. \qquad (10.6)$$

Bucağın artması kvadratik parabola üzrə gedir, δ bucağının hər hansı qiymətinə uyğun olan zaman isə (10.6) formulasından təyin olunur:

$$t = \sqrt{\frac{2T_j\left(\delta - \delta_0\right)}{P_0}}. \qquad (10.7)$$

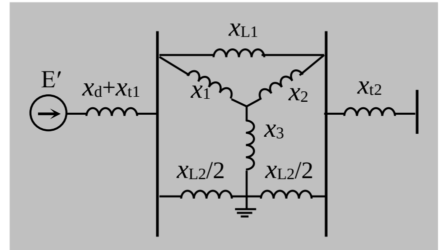
Üçfazalı QQ – nın açılma bucağının son həddi (10.3) ifadəsindən $P_{\max 2} = 0$ sadələşdirilmə şərti ilə təyin oluna bilər:

$$\cos\delta_{ac.hedd} = \frac{P_0\left(\delta_{kr} - \delta_0\right) + P_{\max 3}\cos\delta_{kr}}{P_{\max 3}}.$$

Üçfazalı QQ zamanı açılma müddətinin son həddi (10.7) ifadəsindən təyin olunur:

$$t_{ac.hedd} = \sqrt{\frac{2T_j P_0\left(\delta_{ac.hedd} - \delta_0\right)}{P_0}}.$$

Üçfazalı QQ – nın xəttin əvvəlində yox, digər yerində baş verirsə (məs. onun ortasında), ondaqarşılıqlı müqavimətin tapılma şərti dəşəcəkdir. O, artıq sonlu kəmiyyətdir və şəkil 10.5 –də göstərilən sxemdən təyin edilir. Xəttin x_{L1}, $x_{L2}/2$ müqavimətlərindən ibarət olan üçbucağı x_1, x_2, x_3 –dən təşkil olunan ulduzuna çevirəcək şəkil 10.2, *b* – də təsvir olunan qeyri – simmetrik QQ üçün olan sxemə oxşar olan generatorun sistemlə əlaqə sxemini alarıq. Bu halda dinamik keçid qeyri – simmetrik QQ zamanı olan keçidə oxşardır.



Şəkil 10.5. Əvəz sxemi və onun üçfazlı QQ xəttin ortasında olan halı üçün çevrilməsi

10.5. GENERATORUN ROTORUNUN HƏRƏKƏT TƏNLİYİNİN HƏLLİ. ARDICIL İNTERVALLAR METODU

Rotorun hərəkət tənliyi qeyri – xəttidir və ümumi halda həll oluna bilməz. Eyni zamanda qeyd etmək lazımdır ki, tam yükün açılması ilə müşahidə olunan, yəni $P_{q\partial za\ \max} = 0$ qəza halları istisna təşkil edir. (9.7) tənliyi ədədi inteqrallama metodu ilə həll olunur [14]. Bunlardan biri prosesin gedişini fiziki təsviri şəkillərlə aydınlaşdırılan ardıcıl intervallar metodudur. Bu metoda uyğun olaraq generatorun

rotorunun yırğalanmasının bütün prosesi Δt zaman intervallarına bölünür və bunların hər biri üçün $\Delta\delta$ bucaq artımı hesablanır. Qısaqapanma anında generatorun verdiyi güc aşağı düşür və $P_{(0)}$ izafi gücü yaranır. Kiçik Δt intervalı üçün qbul etmək olar ki, bu kiçik interval müddətində izafi güc dəyişməz qalır. (9.7) ifadəsini inteqrallıyaraq birinci intervalın sonunda alarıq

$$\frac{d\delta}{dt} = \Delta V_{(1)} = \alpha_{(0)}\Delta t + c_1, \quad \delta_{(0)} = \alpha_{(0)}\frac{\Delta t^2}{2} + c_2.$$

Qısaqapanma anında rotorun nisbi sürəti sıfıra bərabərdir ($c_1 = 0$), ona görə də birinci intervalın sonunda rotorun nisbi sürəti $\Delta V_{(1)}$ –ə bərabərdir. $t = 0$ qiymətində bucaq $\delta = \delta_0$, ona görə də $c_2 = \delta_0$. α_0 təcili (9.4) ifadəsindən hesablana bilər: $\alpha_{(0)} = \Delta P_{(0)} / T_j$, buradan

$$\Delta\delta_{(1)} = \left(\Delta P_{(0)} / T_j\right)\frac{\Delta t^2}{2}.$$

Burada bucaq və zaman radianda verilib. Praktiki hesabatlarda bucaq dərəcə ilə, zaman isə saniyə ilə ifadə olunur:

$$\delta_{(derece)} = \frac{360 f}{\omega_0}\delta_{(rad)}, \qquad (10.8)$$

$$t_{(san)} = t_{(rad)} / \omega_{(0)}. \qquad (10.9)$$

(10.8) və (10.9) –dan istifadə edərək və nəzərə alaraq ki, $T_{j(san)} = T_{j(rad)} / \omega_0$, alırıq

$$\delta_{(1)} = \delta_0 + \frac{360 f\Delta t^2}{T_j}\frac{\Delta P_{(0)}}{2} = \delta_0 + K\frac{\Delta P_{(0)}}{2},$$

burada

$$K = \frac{360 f\Delta t^2}{T_j}. \qquad (10.10)$$

İkinci intervalda yaradılan təcil birinci intervalın sonundakı $\Delta P_{(1)}$ izafi gücə mütənasibdir. İkinci interval müddətində bucaq atımını hesablayarkən bu

intervalda α (1) təcilindən əlavə, artıq intervalın başlanğıcında rotorun $V_{(1)}$ surətinin də olduğunu nəzərə almaq lazımdır

$$\Delta\delta_{(2)} = V_{(1)}\Delta t + \frac{\alpha_{(1)}\Delta t^2}{2} = V_{(1)}\Delta t + K\frac{\Delta P_{(1)}}{2}, \qquad (10.11)$$

burada $\Delta P_{(1)} = P_0 - P_{max}\sin(\delta_1)$.

Birinci zaman intervalı müddətində təcil α (0) sabit olmadığına görə, V_1 sürətinin qiyməti dəqiq deyil. Sürətin daha dqiq qiymətini, birinci intervalda orta təcilin təsir etməsini fərz etsək almaq mümkündür:

$$\alpha_{(0)or} = \left(\alpha_{(0)} + \alpha_{(1)}\right)/2.$$

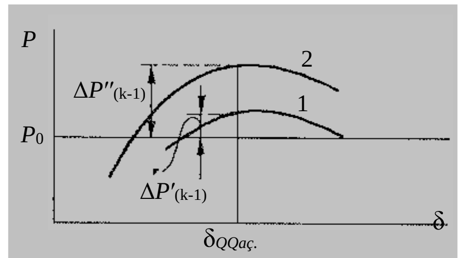
Onda nisbi sürət aşağıdakı formula ilə ifadə olunacaq:

$$V_{(1)} = \alpha_{(0)or}\Delta t = \frac{\left(\alpha_{(0)} + \alpha_{(1)}\right)}{2}\Delta t.$$

Bu qiyməti (10.11) –də yerinə yazsaq, alarıq

$$\Delta\delta_{(2)} = \frac{\left(\alpha_{(0)} + \alpha_{(1)}\right)}{2}\Delta t + \frac{2\alpha_{(1)}\Delta t^2}{2} = \frac{\alpha_{(0)}\Delta t^2}{2} + \alpha_{(1)}\Delta t^2,$$

və ya $\Delta\delta_{(2)} = \Delta\delta_{(1)} + K\delta\Delta P_{(1)}$. Son–rakı intervallarda bucaq artımı analoji olaraq hesablanır: $\Delta\delta_{(n)} = \Delta\delta_{(n-1)} + K\delta\Delta P_{(n-1)}$. Əgər başlanğıcda hər hansı K interva–lında QQ –nın açılması baş verirsə, onda izafi güc qəflətən hər hansı $\Delta P^{/}_{(k-1)}$ qiymətindən (şəkil 10.6) $\Delta P^{//}_{(k-1)}$ qiymətinə qədər dəyişir ki, bu 1–ci xarakteristikasından *2* –yə keçidə uyğundur.



Şəkil 10.6. Bir rejimdən (*1* xarakteristikası) digərinə (*2* xarakteristikasına) keçid zamanı izafi gücün təyini üçün

Qısaqapanma açıldıqdan sonra birinci intervalda bucaq artımı aşağıdakı kimi təyin olunur:

$$\Delta\delta_{(K)} = \Delta\delta_{(K-1)} + K\frac{\Delta P'_{(K-1)} + \Delta P''_{(K-1)}}{2}. \qquad (10.12)$$

Ardıcıl intervallar metodu ilə hesabat δ bucağının azalmağa başlayan anına kimi, və ya bucağın qiymətini məhdudiyyətsiz olaraq artımının davam etdiyi məlum olan ana kimi davam etdirilir, yəni maşının dayanıqlığı pozulur.

10.6. MÜRƏKKƏB SİSTEMLƏRİN DİNAMİK DAYANIQLIĞI

Mürəkkəb sistemlərin dinamik dayanıqlığının hesabatını ağağıdakı alqoritm şəkilində təqdim etmək olar:

1. Elektrik sisteminin normal (QQ –dən əvvəlki) rejiminin hesabatı. Hesabatın nəticəsi elektrik stansiyasının EHQ ($E^{/}$) və onların arasındakı bucağın qiymətidir.
2. Əks və sıfır ardıcıllıqların əvəz sxeminin tərtib olunması və QQ nöqtəsinə və sxemin sıfır nöqtəsinə nəzarən onların yekun müqavimətlərinin təyini. Baxılan QQ –ya uyğun olan qəza şuntlayıcı müqavimətin hesablanması.
3. Qəza və qəzadan sonrakı rejimlərdə sistemin bütün stansiyaları üçün məxsusi və qarşılıqlı keçiriciliklərin hesabatı.
4. Ardıcıl intervallar metodunun köməyi ilə maşınların rotorlarının yerdəyişmə bucaqlarının hesabatı. Birinci intervalın başlanğıcında maşınların verdiyi gücün qiymətinin təyini:

$$P_1 = E_1^2 Y_{11}\sin\alpha_{11} + E_1E_2\sin(\delta_{12}-\alpha_{12}) + \ldots$$
$$P_2 = E_2E_1\sin(\delta_{21}-\alpha_{21}) + E_2^2 Y_{22}\sin\alpha_{22} + \ldots$$
$$\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots$$

5. Birinci intervalın başlanğıcında izafi qücün təyini:

$$\Delta P_{1(0)} = P_{10} - P_1,$$
$$\Delta P_{2(0)} = P_{20} - P_2,$$
$$\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots$$

burada P_{10}, P_{20} və s. – QQ –dən əvvəlki anda maşınların gücüdür.

6. Birinci interval müddətində (Δt) generatorların rotorlarının yerdəyişmə bucaqlarının hesablanması:

$$\Delta\delta_{1(1)} = K_1 \frac{\Delta P_{1(0)}}{2},$$

$$\Delta\delta_{2(1)} = K_2 \frac{\Delta P_{2(0)}}{2}.$$

....

İkinci və sonrakı intervallarda rotorların yerdəyişmə bucaqları üçün ifadələr bir qədər başqa cür olacaqdır:

$$\delta_{1(n)} = \Delta\delta_{1(n-1)} + K_1 \Delta P_{1(n-1)},$$

$$\delta_{2(n)} = \Delta\delta_{2(n-1)} + K_2 \Delta P_{2(n-1)},$$

....

Burada K əmsalı (10.10) ifadəsinə müvafiq hesablanır.

7. Birinci intervalın sonunda – ikincinin başlanğıcındakı bucaqların yeni qiymətlərinin təyini:

$$\Delta\delta_{1(n)} = \Delta\delta_{1(n-1)} + \delta_{1(n)},$$

$$\Delta\delta_{2(n)} = \Delta\delta_{2(n-1)} + \delta_{2(n)},$$

....

Burada $\delta_{1(n-1)}$, $\delta_{2(n-1)}$ və s. – özündən əvvəlki intervalın sonunda bucağın qiymətidir.

8. Rotorların yerdəyişmələrinin qarşılıqlı aralanma bucaqlarının yeni qiymətlərinin tapılması:

$$\delta_{12} = \delta_1 - \delta_2,$$

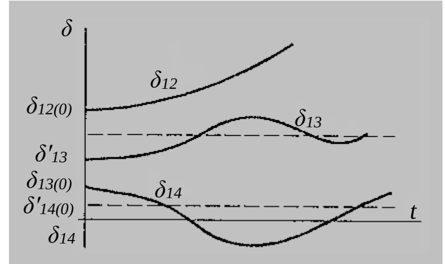
$$\delta_{13} = \delta_1 - \delta_3,$$

....

Bu qiymətləri bilərək sonrakı intervalın hesablanmasına keçmək olar, yəni əvvəlcə bu intervalın başlanğıcındakı gücü hesablamaq, sonra isə 5 –ci bəndən başlayaraq hesabatı təkrarlamaq lazımdır.

Zədələnmənin açılma anında bütün məxsusi və qarşılıqlı keçiriciklər dəyişir. Açılmadan sonrakı anın birinci interval zamanı rotorların yerdəyişmə bucağı hər bir maşın üçün (10.12) ifadəsi üzrə hesablanır.

Mürəkkəb sistemlərin dinamik dayanıqlığı QQ –nın açılmasının müəyyən müddəti üçün yerinə yetirilir və lakin QQ –nın açılma anına qədər yox, dayanıqlığın pozulma yaxud onun saxlanılma faktının müəyyən olunmasına qədər davam etdirilir. Bu barədə nisbi bucaqlarının dəyişmə xarakterinə görə fikir söyləmək olar. Əgər heç olmasa bir bucaq qeyri – məhdud artırsa (məs. şəkil 10.7 –də δ_{12} bucağı), onda sistem dinamiki dayanıqsız hesab olunur. Əgər bütün qarşılıqlı bucaqlar hər han–sı bir yeni qiymət ətrafında sönməyə meyl edirlərsə, onda sistem dayanıqlı olur. Əgər hesablanan sistemin struktu–runda elə stansiya vardır ki, onun gücü yerdə qalan digər stansiyaların gücün–dən çoxdur, onda nisbi bucaqlar bu stansiyaya nisbətən hesablanır.



Şəkil 10.7. Sisteminin generatorlarının nisbi bucaqlarının dəyişməsi

Əgər nisbi bucaqların dəyişmə xarakterinə görə, hesabatın əvvəlində qəbul olunmuş QQ –nın açılma müddətində dayanıqlığın pozulması aşkar olunursa, onda QQ –nın son həd müddətini təyin etmək üçün QQ –nın açılma müddətini azaltmaqla hesabatı təkrar etmək lazımdır. Hesabat o vaxta qədər təkrar olnur ki, onun növbəti qiymətlərinin birində dayanıqlı həll alınsın.

10.7. MÜHƏRRİK YÜKLƏRİNİN DİNAMİKİ DAYANIQLIĞI

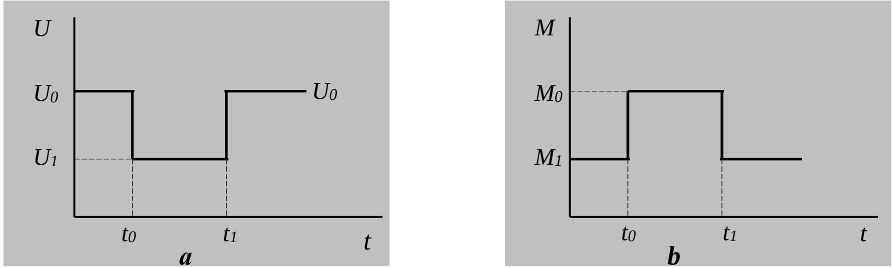
Böyük həyəcanlanmalar zamanı mühərrik yükləri nəinki onların iş rejimlərinə, həm də yükü qidalandıran sistemin fəaliyyətinə təsir edir. Elektrik təchizatı sistemi üçün xarakterik olan iki növ həyəcanlanmanı ayırmaq olar:

1. Mühərrikin sıxaclarında aşağıdakı səbəblər üzündən gərginliyin aşağı düşməsi:

– paylayıcı şəbəkədə qısaqapanma;
– mühərrikin qidalandırılmasının qısa müddətə dayandırılması;
– mühərrikin işə salınması.

Fərz edək ki, bu zaman gərginlik şəkil 10.8, *a*–da göstərildiyi kimi sıçrayışla dəyişir. Aydındır ki, mühərrikin şəbəkədən açılan anında gərginlik $U_1 = 0$ olur.

2. Hərəkətə gətirilən mexanizmin iş rejiminin dəyişməsi ilə əlaqədar olaraq mühərrikin valında mexaniki momentin dəyişməsi.



Şəkil 10.8. Mühərrikin sıxaclarında gərginliyin (*a*) və onun mexaniki momentinin (*b*) dəyişməsi

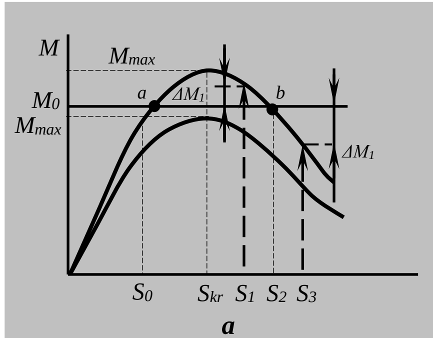
Həmçinin fərz edək ki, t_0 və t_1 zamanı anlarında şəkil 10.8, *b*-də göstərildiyi kimi bu dəyişmə sıçrayışla baş verir. Hər iki halda t_1 anında həyəcanlanma qurtarır, lakin mexaniki moment və ya gərginlik öz əvvəlki qiymətini bərpa edir.

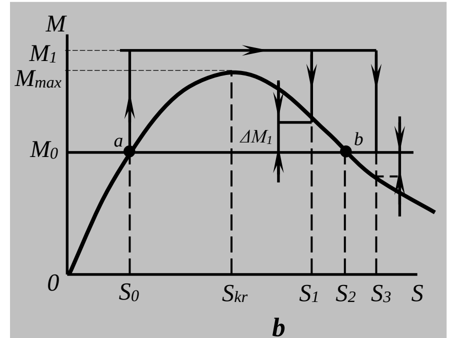
10.7.1. Asinxron mühərrikin dinamiki dayanıqlığı

Mühərrikin sıxaclarında gərginliyin aşağı düşməsi və ya onun valında mexaniki momentin artması ΔM izafi tormozlayıcı momentin yaranmasına səbəb olur (şəkil 10.9). Həm gərginliyin aşağı düşməsi, həm də mexaniki momentin artması zamanı (axırıncı elektromaqnit momentin maksimal qiymətindən yuxarı olur, yəni $M_{mex} > M_{max}$) mühərrikin sürüşməsi artacaq və o çevriləcək (dayanacaq). Bu hadisənin baş verməməsi üçün vaxtında gərginliyi bərpa etmək və ya mexaniki momenti azaltmaq tələb olunur. Əgər S_1 sürüşməsi zamanı (şəkil 10.9) gərginliyin və ya momentin əvvəlki qiyməti bərpa olunursa, onda mühərrikin valına ΔM_1 sürətləndirici izafi momenti təsir edəcək, hansı ki, mühərriki S_0 sürüşməsinə malik olan dayanıqlı iş rejiminə qaytaracaqdır.

Əgər gərginliyin yaxud momentin bərpa olunması S_3 sürüşməsi zamanı baş verirsə, o zaman yaranmış ΔM_2 izafi moment tormozlayıcı xarakterli olacaq və mühərriki dayandıracaqdır. Sürüşmənin bu və ya digər qiymətinə çatması üçün zəruri olan müddəti necə təyin etməli? Bunun üçün mühərrikin rotorunun hərəkət tənliyini həll etmək lazımdır.

Mühərrikin valında izafi moment yarandıqda rotorun sürətlənməsi əlavə momentə düz və inersiya momentinə əks mütənasibdir və aşağıdakı şəkildə yazıla bilər:





Şəkil 10.9. Asinxron mühərrikin dinamiki dayanıqlığının təyini üçün: *a* – gərginliyin azalması; *b* – mexaniki momentin artması

$$\frac{d\omega}{dt} = \frac{\Delta M}{J}, \qquad (10.13)$$

burada $\Delta M = M_{\text{müh}} - M_{\text{M}}$ – mühərrikin elektromaqnit momenti və hərəkətə gətirilən mexanizmin müqavimət momenti;

J - inersiya momentidir, belə ki, $J = J_{\text{müh}} + J_{\text{mex.gət.}}$, $J_{\text{mex.gət.}} = J_{\text{mex}} (\omega_{\text{nom.mex}} / \omega_{\text{nom.müh}})$ – ayrı – ayrı nominal fırlanma sürətləri nəzərə alınmaqla mexanizmin gətirilmiş (hər hansı bir qiymətə) momentidir;

ω – mühərrikin fırlanmasının bucaq sürətidir və sürüşmə vasitəsilə aşağıdakı kimi ifadə oluna bilər:

$$\omega = (1 - S)\omega_{1nom}. \qquad (10.14)$$

(10.14) tənliyini (10.13) –də yerinə yazaraq və ΔM –i mühərrikin nisbi nominal vahidlərində ifadə etsək, alarıq

$$\Delta M_{*nom} = -\frac{dS}{dt}\frac{\omega_{1nom}}{M_{nom}} J = -T_j \frac{dS}{dt}, \qquad (10.15)$$

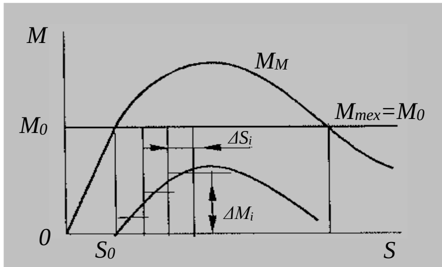
burada $T_j = J\omega_{1nom}^2 / P_{nom}$;

P_{nom} – mühərrikin nominal gücüdür.

(10.15) tənliyi böyük həyəcanlanmalar zamanı mühərrikin rotorunun hərəkəti təsvir edir a s i n x r o n m ü h ə r r i k i n r o t o r u n u n h ə r ə k ə t

t ə n l i y i adlanır. Bu tənlik qeyri – xəttidir və ədədi inteqrallama metodlarından istənilən birinin köməyi ilə həll oluna bilər. Əgər $\Delta M(S)$ funksiyasının absis oxunu ΔS bərabər intervallarına bölsək tənliyin sadə həllini almış olarıq. Onda hərəkətin tənliyi istənilən intervalda aşağıdakı şəkildə olacaq:

$$\Delta M_i = T_j \frac{\Delta S_i}{\Delta t_i}$$



Şəkil 10.10. Mühərrikin rotorunun hərəkət tənliyinin həlli üçün

və rejimin pozulma anından istənilən n –ci intervalın sonuna qədər olan zaman müddəti aşağıdakı kimi təyin olunar:

$$t = T_j \sum_{i=1}^{n} \frac{\Delta S_i}{\Delta M_i}$$

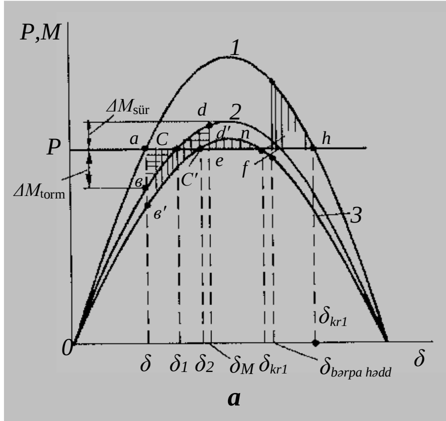
Həllin dəqiqliyi ΔS –in qiymətindən asılıdır və onun azalması ilə artır.

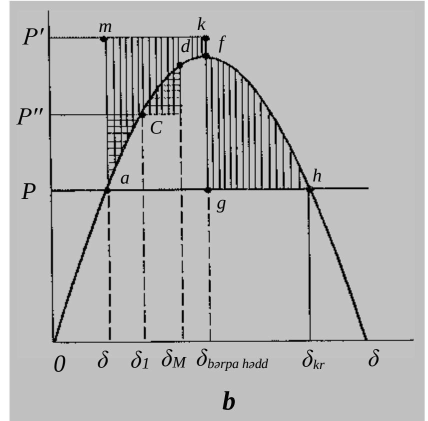
Bu şəkildə $S(t)$ asılılığını alaraq şəkil 10.8 –dən t_1 zamanına uyğun olan sürüşməni təyin edə bilərik. Bu qiyməti bilərək mühərrikin dinamik dayanıqlığı haqqında fikir söyləmək olar.

10.7.2. Sinxron mühərrikin dinamiki dayanıqlığı

Fərz edək ki, mühərrik proporsional tipli TAT qurğusu ilə təchiz olunub. Onda mühərrik bundan əvvəlki halda baxılan kimi (9.11.2 bəndinə bax) x'_d müqaviməti və E' EHQ ilə təqdim oluna bilər. İkinci harmonika nəzərə alınmadan mühərrikin güc xarakteristikası sinusoidal xarakterlidir (şəkil 10.11 –də 1 əyrisi). Mühərrikin sıxaclarında gərginlik azalan zaman işçi nöqtə, güc xarakteristikasında yeni rejimə uyğun olan nöqtəyə (şəkil 10.11, *a*–da *2* xarakteristikasında *b* nöqtəsinə) yerini dəyişir. Bu zaman mühərrikin və hərəkətə gətirilən mexanizmin valında ΔM_{torm} izafi tormozlayıcı momenti yaranır, δ bucağı artmağa başlayır, tormozlayıcı moment isə azalır və *c* nöqtəsində sıfıra bərabər olur. Mühərrikin rotorunun *b* nöqtəsindən *c* nöqtəsinə qədər hərəkəti zamanı yığdığı kinetik enerji (onun qiyməti *abc* sahəsinə mütənasibdir) rotorun yeni dayanıqlı tarazlıq nöqtəsində – *c* –də dayanmağa imkan verməyəcəkdir. δ bucağı o vaxta qədər artacaqdır ki, *cde* sahəsi *abc* sahəsinə bərabər olsun. *d* nöqtəsi rotorun oxunun başlanğıc δ_0 vəziyyətindən maksimum meyletmə bucağına uyğundur.

Rotorun fırlanma sürəti *d* nöqtəsində sinxron surətə bərabər olur, lakin mühərrikin valına sürətləndirici $\Delta M_{sür}$ momenti təsir etdiyi üçün rotor *c* nöqtəsinə tərəf hərəkət etməyə başlayır. Onun yaxınlığında, xəttin qəflətən açılması halına (şəkil 10.1, *ç* – yə bax) oxşar olaraq, sönən rəqslər yaranır.





Şəkil 10.11. Sinxron mühərrikin dinamik dayanıqlığının analizi üçün:
a – gərginliyin azalması (azalmış gərginlik zamanı güc (*2,3* əyriləri) və U_{nom} zamanı moment (*1* əyrisi) xarakteristikaları); *b* – mexaniki momentin əlavə olunması

Baxılan gərginlik azalması (ona *2* xarakteristikası uyğundur) mühərrikin dayanıqlığını pozmur və o alçaq gərginlikdə də normal işləyə bilər (statik dayanıqlığın kiçik ehtiyatı ilə). Əgər güc xarakteristikası elə yerləşir ki, rotorun meyletməsinin maksimal bucağı kritik qiymətdən δ_{kr} –dən çoxdur (*3* xarakteristikası) onda mühərrikin valında əlavə tormozlayıcı moment yaranır və onun dayanıqlığı pozulur. Bu halda dayanıqlığı saxlamaq üçün mühərrikin sıxaclarında $\delta_{bərpa}$ bucağına uyğun olan hər hansı bir anda U_0 gərginliyini bərpa etmək lazımdır.

Bununla yanaşı işçi nöqtənin *1* xarakteristikasına keçidi baş verir, sürətlənmənin yeni *mgh* sahəsi mühərrikin tormozlanmasının qurtarması və onun dayanıqlı işçi vəziyyətə qayıtması üçün $\delta_{bərpa}$ bucağının hədd qiyməti aşağıda verilən sahələrin bərabərliyindən təyin olunacaq

$$\mathrm{F}_{\mathrm{ab}'c'} + F_{nmf} = F_{c'd'n} + F_{mgh}, \text{ və ya}$$

$$\int_{\delta_0}^{\delta_2}(P_0 - P_{\max 3}\sin\delta)d\delta + \int_{\delta_{kr.3}}^{\delta_{berpahedd}}(P_0 - P_{\max 3}\sin\delta)d\delta -$$

$$-\int_{\delta_2}^{\delta_{kr.3}}(P_{\max 3}\sin\delta - P_0)d\delta - \int_{\delta_{berpahedd}}^{\delta_{kr.1}}(P_{\max 1}\sin\delta - P_0)d\delta = 0,$$

buradan, 10.3 bölməsində verilən oxşar çevirmələrdən sonra, alarıq

$$\cos\delta_{berpa.hedd} = \frac{P_0(\delta_{kr.1} - \delta_0) - P_{\max 3}\cos\delta_0 + P_{\max 1}\cos\delta_{kr.1}}{P_{\max 1} - P_{\max 3}}.$$

Mühərrikin mexaniki momentinin P'_0 –ə qədər artması (şəkil 10.11, *b*) zamanı valda əlavə tormozlayıcı ΔM_{torm} moment yaranır ki, o δ bucağının artmasına doğru rotorun nisbi hərəkətini yaradır. Rotorun bucağının qiyməti δ_1–in qiymətini aşdıqda, mühərrikin valında sürətləndirici izafi moment yaranır. *c* nöqtəsində maksimum olan rotorun nisbi sürəti *d* nöqtəsində sıfıra bərabər olur. Mühərrik əks tərəfə fırlanmağa başlayır. *c* nöqtəsi ətrafında olan sönən rəqslər nəticəsində mühərrik δ_1 bucağı ilə yeni iş rejiminə keçir.

Mexaniki momentin əlavə olaraq çox artması(nabros) (P''_0 qiymətinə qədər) zamanı, bundan əvvəlki haldan fərqli olaraq burada dinamiki dayanıqlıq saxlanılmır. δ bucağının istənilən qiymətində yaranmış izafi moment tormozlayıcı xarakterli olacaq və mühərrik sinxronizmdən çıxacaqdlr. Bu halda, əgər hər hansı bir *f* nöqtəsində mexaniki momentin öz əvvəlki qiymətinə qədər bərpa olunması baş verərsə dayanıqlığın saxlanılması mümkündür. Mühərrikin valında *fg* parçasına mütənasib olan sürətləndirici izafi moment yaranır. Əgər *amkf* tormozlama sahəsi sürətlənmənin *fgh* mümkün ola biləcək sahəsindən az olarsa, yaxud heç olmasa ona bərabər olarsa mühərrikin dinamik dayanıqlığı saxlanılacaqdır. Bu sahələr bərabər olduğu halda mexaniki momentin bərpa olunma bucağı son hədd qiymətində olur. Onun qiyməti aşağıdakı bərabərlikdən tapıla bilər:

$$F_{amkf} - F_{fgh} = 0 \text{ yaxud}$$

$$\int_{\delta_{kr.3}}^{\delta_{berpahedd}}(P''_0 - P_{\max 1}\sin\delta)d\delta - \int_{\delta_{berpahedd}}^{\delta_{kr}}(P_{\max 1}\sin\delta - P_0)d\delta = 0.$$

İnteqralı açıb və alınan ifadəni çevirib, yaza bilərik

$$\cos\delta_{berpa.hedd} = \frac{P_0''\delta_0 - P_0\delta_{kr} - P_{\max 1}\left(\cos\delta_{kr} - \cos\delta_0\right)}{P_0'' - P_0}.$$

Mühərrikin rotorunun $\delta_{bərpa\ hədd}$ bucağına çatması üçün lazım olan zaman müddəti δ = *f* (t) asılılığından təyin olunur, o isə rotorun hərəkət tənliyinin həll olunması nəticəsində alınır. Mühərrikin valında izafi moment yarandıqda onun nisbi sürəti Δω aşağıdakı formula ilə təyin olunur:

$$d\delta/dt = \Delta\omega = \omega_0 - \omega$$

burada ω_0 – sinxron sürətdir.

Nisbi qiymət $\Delta\omega_*$ –nı aşağıdakı formula ilə təyin edirik:

$$\Delta\omega_* = \frac{\Delta\omega}{\omega_0} = \frac{\omega_0 - \omega}{\omega_0} = 1 - \omega_* = S.$$

Mühərrikin sürüşməsini aşağıdakı şəkildə verək

$$S = 1 - \frac{\omega}{\omega_0} = 1 - \left(\frac{\omega_0 - \Delta\omega}{\omega_0}\right) = 1 - \left(1 - \frac{1}{\omega_0}\frac{d\delta}{dt}\right).$$

ΔM izafi momentinə uyğun olan rotorun sürətlənməsi ΔM ilə düz və mühərrikin inersiya sabiti (T_j) ilə tərs mütənasibdir:

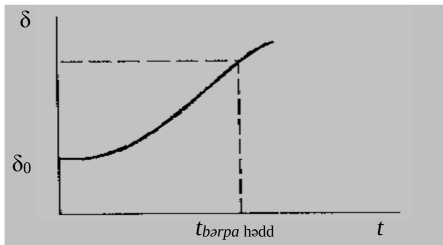
$$\frac{d\omega_*}{dt} = -\frac{dS}{dt} = -\frac{1}{\omega_0}\frac{d^2\delta}{dt^2} = \frac{\Delta M}{T_j},$$

buradan

$$-T_j\frac{d^2\delta}{dt^2} = \Delta P. \qquad (10.16)$$

Bu tənlik s i n x r o n m ü h ə r r i k i n r o t o r u n u n h ə r ə k ə t t ə n l i y i adlanır. Bu tənliyin sağ tərəfi qeyri – xəttidir, ona görə də onun həlli

hər hansı bir ədədi metodun köməyi ilə (o cümlədən, ardıcıl intervallar meodu ilə) həll oluna bilər. Həllin nəticəsi $\delta = f(t)$ asılığıdır (şəkil 10.12). Qrafik metodla bərpa olunmanın hədd bucağını $\delta_{bərpa\ hədd}$–ni təyin edib, şəkil 10.12–də göstərdiyi kimi ona uyğun olan qiyməti $t_{bərpa\ hədd}$ tapırıq. Mühərrikin rotorunun hərəkət tənliyi (10.16) –nın həlli mühərrikin dayanıqlığı fikir söyləməyə imkan verir. Əgər $\delta(t)$ asılılığı artan xarakterlidirsə mühərrik dayanıqlı deyil. Əgər bu asılılıq sönən rəqsi əks etdirirsə,onda mühərrik dayanıqlıdır.



Şəkil 10.12. $t_{\text{bərpa hədd}}$ –nin təyini üçün

10.8. MÜHƏRRİKİN İŞƏ SALINMASI

Mühərrikin işə salınması – bu mühərrikin və işçi mexanizmlərin hərəkətsiz vəziyyətdən ($\omega = 0$) normal sürətlə ($\omega = \omega_0$) fırlanma vəziyyətinə keçid prosesidir.

Sinxron və asinxron mühərriklərin işə salınması zamanı gedən proseslər, həmçinin onların işə buraxma sxemləri olduqca oxşardır və yalnız sinxron mühərriklərdə işə salınmanın axırıncı mərhələsində təsirlənmənin qoşulması ilə fərqlənir. Mühərriklərin işə salınması normal keçid prosesidir və ona elektrik təchizatı sisteminin normal işini təmin etmə nöqteyi nəzərindən baxılır. Bunula yanaşı aşağıdakı məsələlər həll olunur: mühərriklərin cərəyanının təyini, işə buraxma zamanı onların sıxaclarında gərginliyin təyini, mühərriklərin qrup şəkilində işə salınması və s.

İşə salınma zamanı mühərrik, normal iş rejiminə nisbətən kifayət qədər çox enerji sərf edir ki, bu işəburaxma cərəyanının artması ilə müşayət olunur. İşəburaxma cərəyanının nominala nisbətən dəfəliliyi qısaqapanmış mühərriklər üçün 5 ... 8 –ə çatır.

Mühərrikin işə salınma şəraiti başlanğıc anda mühərrikin yaradacağı mexaniki moment ilə təyin olunur.

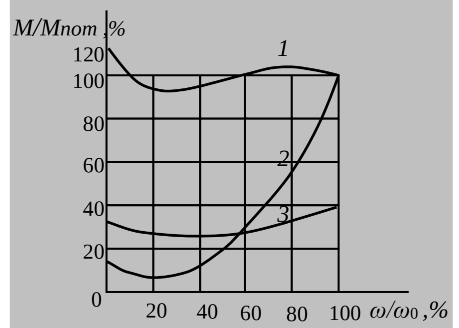
Fırlanma hərəkətinə gətirilən bir neçə növ mexanizmlərin mexaniki xarakteristikaları şəkil 10.13 –də verilib. Bunlar işəsalma şəraitlərinə görə üç yerə bölünürlər: yüngül, normal və ağır.

Y ü n g ü l işəsalma şəraitləri o vaxt yaranır ki, mühərrikin başlanğıc fırlanma momenti $M_{\text{mex.baş}}$ = (10) % M_{nom} olsun, burada M_{nom} – mühərrikin nominal momentidir.

N o r m a l şəraitlər $M_{\text{mex.baş}}$ = (50 – 70)% M_{nom} olduqda yaranır.

A ğ ı r şəraitlər isə $M_{mex.baş}$ = 100 % və daha çox M_{nom} olduqda yaranır.

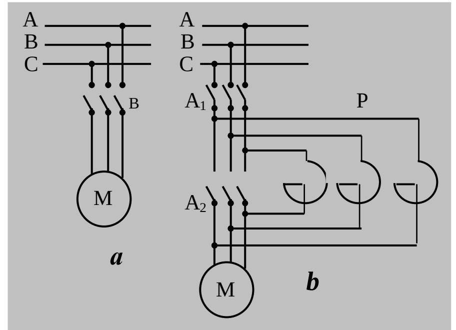
Ağır işəsalma şəraitləri: qaldırıcı kran, doğrayıcı (daşdoğrayan) barabanlar, açıq siyirtməli nasoslar və s. kimi mexanizmlər üçün xarakterikdir (şəkil 10.13). Ağır işəsalma şəraitini yüngülləşdirmək üçün bəzi intiqrallarda xüsusi mexanizmlərdən istifadə olunur: mərkəzdənqaçma, hidravlik, ilişmə və digər muftalar. Bunların köməyi ilə mühərrik yalnız lazım olan fırlanma sürətinə çatdıqdan sonra yüklənir və o sürətə uyğun mexaniki momenti yaradır.



Şəkil 10.13. İşçi mexanizmlərin mexaniki xarakteristikaları: *1* – qaldırıcı kran; *2* – mərkəzdən qaçma nasosu; *3* – porşenli kompressorlar və ventilyatorlar

İşəsalma sxemi qidalandırıcı şəbəkənin tələbləri ilə təyin edilir. İstismar praktikasında daha geniş yayılmış birbaşa və reaktor vasitəsilə işə salma sxemlərinə baxaq.

B i r b a ş a i ş ə s a l m a şəkil 10.14, *a* – da göstərilən sxem üzrə yerinə yetirilir. Mühərrik açarla şəbəkənin tam gərginliyinə qoşulur. Bu kiçik güclü mühərriklərin işəsalınması üçün istifadə olunan ən sadə sxemdir.



Şəkil 10.14 Mühərriklərin işəsalınma sxemləri: *a* – birbaşa; *b* – reaktorla

R e a k t o r l a i ş ə s a l m a şəkil 10.14, *b* – də göstərilən sxem üzrə yerinə yetirilir. İşəsalmanın başlanğıcında şuntlayıcı A2 açarı açıq vəziyyətdədir. Mühərrik şəbəkəyə reaktor vasitəsilə qoşulur. O, mühərrikin işə salma cərəyanını məhdudlaşdırır və onun sıxaclarında gərginliyi aşağı salır. Mühərrik sürətini artırdıqca onun tələb etdiyi cərəyan azalır və mühərrikin sürəti nominala yaxınlaşdığı zaman işəsalma reaktorunu açan şuntlayıcı A2 açarı qoşulur. Reaktorun müqaviməti aşağıdakı kimi təyin olunur:

$$x_r = U_{nom}\left(\frac{1}{I_{iş.sal.\min}} - \frac{1}{I_{iş.sal.\max}}\right), \qquad (10.17)$$

burada $I_{\text{işəsal. min}}$ – reaktorun köməyi ilə işəsalma cərəyanının məhdudlaşdırıldığı minimum qiymətdir;

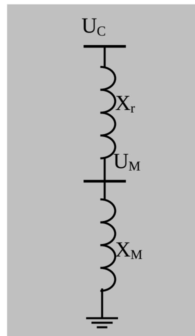
$I_{\text{işəsal. max}}$ – mühərrikin sıxaclarında nominal gərginliyə uyğun onun işəsalma cərəyanıdır.

Reaktorla işəsalma zamanı mühərrikin sıxaclarındakı gərginlik şəkil 10.15 – də göstərilən əvəz sxemindən təyin olunur:

$$U_M = U_C - \frac{U_C}{x_r + x_M} x_r = U_C \left(1 - \frac{x_r}{x_r + x_M}\right) = \tag{10.18}$$
$$= \frac{U_C}{1 + x_r / x_M} = \frac{U_C}{1 + x_r \left(I_{iş.sal.\max} / U_{nom}\right)}.$$

İşəsalma cərəyanı

$$I_{iş.sal.} = \frac{U_C}{x_r + x_M} = \frac{U_C}{x_r + U_{nom} / I_{iş.sal.\max}}. \tag{10.19}$$



Şəkil 10.15. Reaktorla işəsalmanın əvəz sxemi

Reaktorla işə salma zamanı moment aşağıdakı kimi təyin olunur:

$$M_{iş.sal.r} = M_{iş.sal(U=U_{nom})} \left(\frac{U_M}{U_{nom}}\right)^2 \tag{10.20}$$

(10.17) – (10.20) ifadələrində nəzərdə tutulur ki, işəsalma rejimində mühərrik yalnız reaktiv müqaviməti ilə təqdim oluna bilər. Bu hesabata əhəmiyyətli dərəcədə xəta gətirmir, ona görə ki, mühərrikin aktiv müqaviməti sürüşməyə tərs mütənasibdir, işəsalmanın ilkin anında (S = 100% olduqda) çox kiçikdir. Reaktorla işəsalmanın çatışmayan cəhəti əlavə avadanlıqların (reaktor və açar) tələb olunmasıdır. Bundan başqa mühərrikin işə salınma müddəti artırılır və onun işəsalınma elektromaqnit momenti azalır. Reaktorla işəsalınmanın üstün cəhəti – qidalandırıcı şəbəkədə gərginlik rejiminin yaxşılaşdırılması, onun avadanlıqlarına tələbin yumuşaldılmasıdır.

Sinxron mühərriklərin işə salınmasının özünə məxsus xüsusiyyətləri vardır. Sinxron mühərrik şəbəkəyə təsirlənməmiş qoşulur. Onun təsirlənmə dolağı qısaqapanmışdır yaxud müqavimətlə qapanır $r_{\text{işə sal.}}$ = (5 ... 10) r_f, burada r_f –

təsirlənmə dolağının müqavimətidir. Mühərrikin işəsalma cərəyanı aşağıdakı formuladan təyin olunur.

$$I_{iş.sal} \cong \frac{U_M}{x''_d},$$

burada U_M – mühərrikin sıxaclarındakı gərginlik;

$x^{//}_d$ – mühərrikin ifratkeçirici müqavimətidir.

Rotorun fırlanma sürəti sinxrona yaxın olan kimi, ona təsirlənmə verilir və o sinxronizmə cəlb olunur.

İşəsalma rejiminin hesabatı işəsalma müddətinin, dolağın qızmasının yol verilən müddətinin, qidalandırıcı şəbəkənin gərginliyinin dəyişmə xarakterini təyin etmək məqsədi ilə yerinə yetirilir. Asinxron mühərriklərdə olduğu kimi sinxron mühərriklər üçün də işəsalma rejiminin hesabatı mühərrikin rotorunun hərəkət tənliyinin həlli ilə yerinə yetirilir. Bu zaman sürüşmənin başlanğıc qiyməti ($S_{işə\ sal.}$ = 100%) vahidə bərabərdir. İşəsalma müddətinin zaman intervalını kiçik intervallara bölərək $S(t)$ asılılığını tapırlar və bu asılılıqdan $S = S_0$ zamanı işəsalma müddətini təyin edirlər. Cərəyana görə ifrat yüklənmənin mövcud olma müddətini və onların qiymətini bilərək mühərrikin qızmasını təyin edirlər. $U(t)$ asılılığı, (məs. yaxınlıqda işləyən mühərriklərin dayanıqlığını qiymətləndirmək üçün) hər bir zaman intervalında qidalandırıcı şəbəkədə və mühərrikin sıxaclarında gərginlik rejiminin hesablanması yolu ilə təyin olunur.

M ə s ə l ə 10.2. Alçaldıcı yarımstansiyanın 6 kV –luq şinindən iki ədəd eyni M1 və M2 asinxron mühərrikləri qidalanırlar. Onların hər birinin parametrləri: P_{nom} = 2000kVt, U_{nom} = 6 kV, cosφ = 0.83, η = 92%, $I_{işə\ sal.}$ = 5.2 .

Sxemin yerdə qalan elementlərinin xarakteristikaları aşağıdakılardır:

Transformator T – 1: S_{nom} = 15 MVA, 115,5/ 37kV, U_{qq} = 10,5%.

Transformator T – 2: S_{nom} = 7,5 MVA, 36,8/ 6,6kV, U_{qq} = 7,5%.

Xətt L: l = 15 km, x_0 = 0,4O m/km

Sistem S – sonsuz güc mənbəyi, dəyişməz 107kV gərginliklə.

Tələb olunur: aşağıdakı hallarda mühərriklərin işə salınma şəraitlərini müqayisə edir:

a) hər iki mühərrik eyni vaxda işə salınır;

b) bir mühərrik işə salınır, bu zaman ikinci mühərrik nominal gərginlik zamanı 0,67 S_{nom} , cosφ = 0,8 yüklə işləyir.

Nominal gərginlik zamanı işəsalma momentinin mühərrikin nominal momentinin 70% - ni təşkil etdiyini təzərdə tutaraq işə salma cərəyanının və işəsalma momentinin periodik toplananlarının qiymətlərinə görə müqayisəni yerinə yetirin.

H ə l l i. S_b = 7,5 MVA və U_{b1} = 6 kV qəbul edək. Bu halda digər pillələrdə bazis gərginlikləri aşağıdakı təyin olur:

$$U_{bII} = 6\frac{36.8}{6.6} = 33.4kV \quad \text{və} \quad U_{bIII} = 33.4\frac{115.5}{37} = 104kV.$$

Şəkil 2.21 – də göstərilən əvəz sxeminin elementlərinin nisbi reaktivlikləri bu zaman aşağıdakı kimi hesablanır:

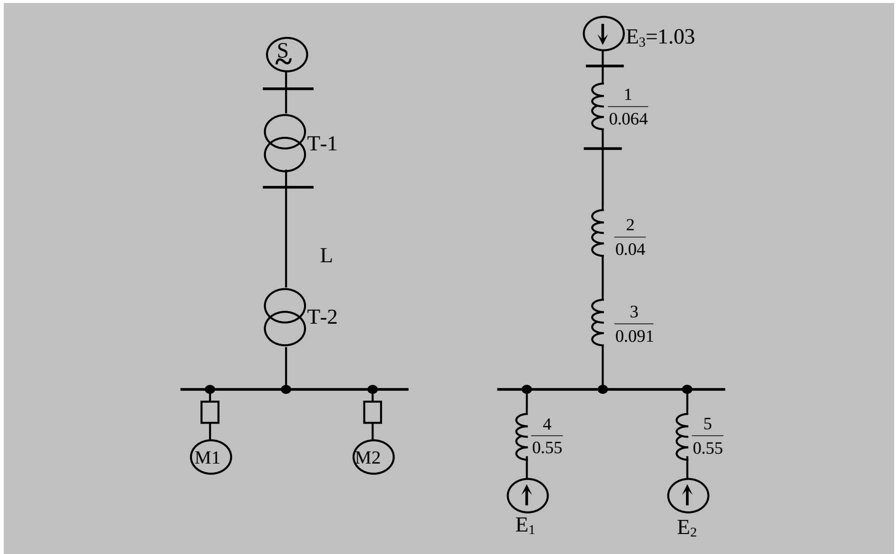
$$x_1 = 0.105\frac{7.5}{15}\left(\frac{37}{33.4}\right)^2 = 0.064, \qquad x_2 = 0.4\cdot 15\frac{7.5}{33.4^2} = 0.04,$$

$$x_3 = 0.075\left(\frac{6.6}{6}\right)^2 = 0.091, \qquad x_4 = x_4 = \frac{1}{5.2}\frac{7.5}{2.62} = 0.55,$$

Burada mühərrikin nominal gücü

$$S_H = \frac{P_H}{\cos\varphi\eta} = \frac{2000}{0.83\cdot 0.92} = 2620 kVA = 2.62 MVA.$$

Nisbi vahidlərdə sistemin gərginliyi $E_3 = \frac{107}{104} = 1.03.$



a h a l ı. Əvəz sxemində $E_1 = E_2 = 0$ hesab edilmək lazımdir.
Sxemin yekun reaktivliyi

$$x_\Sigma = 0.064 + 0.04 + 0.091 + \frac{0.55}{2} = 0.47.$$

Bazis şərtləri daxilində hər bir mühərrikdə işə salma cərəyanı

$$I_{iş.sal} = 0.5\frac{1.03}{0.47} = 1.1$$

yaxud mühərriklərin nominal cərəyanına nəzarən

$$I_{iş.sal}=1.1\frac{7.5}{2.62}=3.15.$$

Mühərriklərin işə salınması zamanı onun sıxaclarında qalıq gərginliyi $U=1.1\cdot 0.55=0.605$, müvafiq olaraq mühərrikin işə salınması zamanı moment $M_{iş.sal}=0.605^2\cdot 0.7M_{nom}=0.256M_{nom}$.

b halı. Əvvəlcə yüklənmiş vəziyyətdə işləyən mühərrikin EHQ – sini tapaq. Verilmiş bazis şərtləri zamanı onun işçi cərəyanı

$$I=\frac{0.67\cdot 2.62}{7.5}=0.234.$$ - ə bərabərdir.

Ona görə də axtarılan EHQ

$$E_1=\sqrt{(U\cos\varphi)^2+(U\sin\varphi-Ix_4)^2}=\sqrt{0.8^2+(0.6-0.234\cdot 0.55)^2}=0.93.$$ -ə bərabər olacaq.

Sistem 6KV –luq şinə qədər olan cəmi reaktivlik

$$x_{\Sigma C}=0.064+0.04+0.091=0.195$$

İşə salınması nəzərdə tutulan M2 mühərrikinə qədər (E_2 = 0) sxemin ekvivalent reaktivliyi $x_{\Sigma M}=0.195//0.55=0.144.$ Bu reaktivlikdən sonra tətbiq olunan ekvivalent EHQ aşağıdakı kimi hesablanır:

$$E_\Sigma=\frac{(1.03\cdot 0.55+0.93\cdot 0.195)}{0.55+0.195}\approx 1.$$

Beləliklə verilmiş bazis şərtləri zamanı mühərrikin işəsalma cərəyanı

$$I_{iş.sal}=\frac{1}{0.144+0.55}=1.44,$$

nominal şərait zamanı isə

$$I_{iş.sal}=\frac{1.44\cdot 7.5}{2.62}=4.12.$$

Qalıq gərginlik $U_{qal}=1.44\cdot 0.55=0.79$ və işəsalma zamanı mühərrikin götürdüyü moment $M_{iş.sal}=0.79^2\cdot 0.7M_{nom}=0.44M_{nom}$.

Görünür ki, "*a*" halında baxılan şərtlə müqayisədə burada işəsalma cərəyanı 0.44/0.256 = 1.72 dəfə çoxdur.

10.9. MÜHƏRRİKLƏRİN ÖZÜNƏİŞƏDÜŞMƏSİ

Özünəişədüşmə - qidalnma mənbəyinin qısa müddətli açılmasından sonra mühərriklərin normal iş rejimlərinin bərpa olunma prosesidir. Özünəişədüşmənin məqsədi elektrik mühərriklərinin kütləvi şəkildə açılmasına yol verməməkdir. Özünəişədüşmə işə salınmadan aşağıdakılarla fərqlənir:

– bütöv bir mühərriklər qrupu eyni zamanda işə salınır;
– qidalanmanın bərpa olunan anında mühərriklərin bir neçəsi yaxud onların hamısı hər hansısa bir sürətlə fırlanırlar;
– özünəişədüşmə yük altında baş verir.

Öz – özünə işə düşmənin şərtlərinə görə mexanizmlər iki qrupa bölünür:

1) sabit müqavimət momenti olan və qidalanmanın qısa müddətdə kəsildikdə tez bir zamanda sürətini itirən mexanizmlər (şar şəkilli dəyirmanlar, transpartyorlar, yayma dəsgəhları, qaldırıcı kranlar və s.);

2) ventilyator xarakteristikalı (mərkəzdən qaçma nasosları, ventilyator, tüstü soranlar, sentrifuqa və s.) momenti olan mexanizmlər. Bu qrupun öz – özünə işə düşməsi birinci qrupa nisbətən yünqül keçir. Ona görə ki, sürətin azalması zamanı mexanizmlərin müqavimət momenti azalır.

Qidalanmada fasilə baş verdikdən sonra işə salınacaq elektrik mühərriklərin müvəffəqiyyətlə özünəişədüşməsini təmin etmək məqsədilə onların cəmi gücünü təyin edirlər. Alınan qiymətlərə uyğun olaraq texnoloji proseslərin şərtlərinə görə yaxud texniki təhlükəsizlik qaydaları üzrə açılması yol verilməz olan mühərriklər seçilir. Özünəişədüşmə rejimində açılmasına yol verilməyən elektrik mühərriklərinin güclərinin cəmi, mexanizmlərin momentindən çox olan fırlanma momentini təmin edəcək qalıq gərginliyi şərti daxilində təyin edilir.

Özünəişədüşmənin hesabatı bir neçə məsələnin həll olunmasını nəzərdə tutur:

1. Alçaq (nominaldan aşağı) gərginlikdə mühərriklərin fırlanma momentləri hesablanır və mexanizmlərin momentindən onun çox olması yoxlanılır.
2. Sürrətin artma müddətinin uzanması səbəbindən mühərrikin əlavə qızma temperaturu müəyyən olunur.

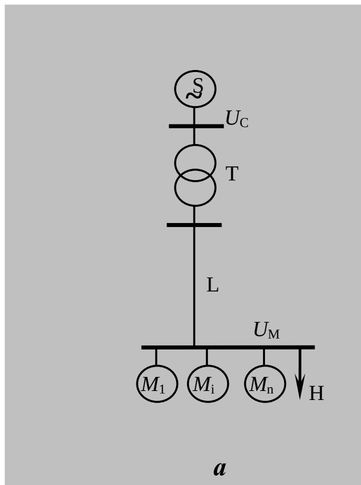
Özünə işə düşmə anında mühərrikdə olan sürüşməni mühərrikin rotorunun hərəkət tənliyinin ədədi inteqrallanması ilə təyin oluna bilər. Asinxron mühərriklərin özünəişədüşməsinə baxaraq fərz edək ki, mühərrikin qidalanması onun üçün daha xarakterik olan şəkil 10.16, *a* –da göstərilən sxem üzrə həyata keçirilir.

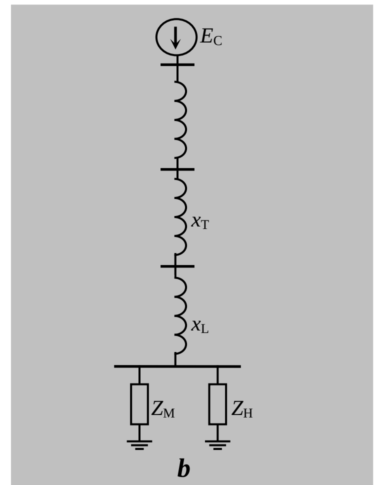
Özünəişədüşmə zamanı mühərrikin sıxaclarındakı gərginlik aşağıdakı formula ilə təyin olunur:

$$U_M = \frac{E_C Z_{ekv}}{Z_{ekv} + x_{xm}}, \qquad (10.21)$$

burada $Z_{ekv} = \frac{Z_M \cdot Z_{nom}}{Z_M + Z_{nom}}$, belə ki, Z_M – qoşulmuş bütün *n* mühərriklərin sürrətini azaldan ekvivalent mühərrikin müqavimətidir;

$x_M = x_C + x_1 + x_2$ xarici müqavimətidir.





Şəkil 10.16. Yükün qidalandırılma sxemi: *a* – prinsipial sxemi; *b* – əvəz sxemi

Özünəişədüşmə anında mühərrikin müqaviməti

$$Z_M = \frac{U_{\text{nom}}^2}{S_{oi}}. \qquad (10.22)$$

burada $S_{öi}$ – özünəişədüşməsi müvəffəqiyyətli olan mühərriklərin cəmi gücüdür;
U_{nom} – mühərrikin nominal gərginliyidir.
(10.22) –ni (10.21) –də yerinə yazaraq $S_{öi}$ –ni təyin edərik:

$$S_{oi} = \frac{U_{nom}^2}{Z_{nom} x_{xm}} \left[\frac{E_C}{U_M} Z_{nom} - \left(Z_{nom} + x_{xm} \right) \right]. \qquad (10.23)$$

Özünəişədüşmə gücü ilə nominal güc arasındakı əlaqə aşağıdakı (mühərrikin *f.i.ə* 1 –ə bərabər olduqda) şəkildədir:

$$S_{oi} = S_{nom} K_s, \qquad (10.24)$$

belə ki

$$K_s = \left(\sqrt{1 - S_{kr}^2} \, / \sqrt{1 + \left(\frac{S_{kr}}{S_{oi}} \right)^2} \right) K,$$

burada K – işəsalma cərəyanının dəfəliyidir.
(10.24) –ü (10.23) –də yerinə yazaraq gücə görə ifadəni alarıq hansı ki, özünəişədüşmə zamanı açılmayan mühərriklərin gücü adlandırmaq olar:

$$S_{açıçılmay} = \frac{U_{nom}^2}{Z \; x_{xm} K_s} \left[\frac{E}{U} Z - \left(Z + x_{xm} \right) \right].$$

Sabit maqnit müqavimətli mexanizmlər üçün özünəişədüşmə şərtinin həyata keçirilməsinə görə mühərrikin sıxaclarında minimal yol verilən gərginlik aşağıdakı formula ilə təyin olunur:

$$U_{M.\min} \geq \sqrt{1.1 \left(M_{мex} / M_{M.\min} \right)}.$$

Ventilyator xarakteristikalı mexanizmlər üçün

$$U_{M.\min} \geq \sqrt{1.1 \left(M_{мex} / M_{M.\max} \right)},$$

burada $M_{M.min}$ – mühərrikin minimal fırlanma momentidir və çox zaman işəsalma momentinə bərabər qəbul edilir;
$M_{M.max}$ – mühərrikin maksimal fırlanma momentidir.

Asinxron mühərriklərə nisbətən sinxron mühərriklərin özünəişədüşmə prosesi bir sıra xüsusiyyətlərə malikdir. Əgər qidalanmanın qısamüddətli fasiləsindən sonra mühərrik sinxronizmdən düşməyibsə yaxud açılmayıbsa, onda özünəişədüşmə baş verir. Əgər mühərrik sinxronizmdən düşürsə və gərginliyin bərpa olunma anına qədər müəyyən sürüşmə ilə asinxron mühərrik kimi işləyirsə, onda onun özünəişədüşməsinə asinxron mühərriklərin işə salınması kimi (lakin yaranmış sürüşmə ilə) baxmaq lazımdır. Bu zaman təsirlənmiş mühərrik stator dövrəsində əlavə müqavimət olmadan yük şininə qoşulur.

Öz – özünə işə düşmənin hesabatı aşağıdakı məsələləri əhatə edir:

1) elektriki yaxınlıqda yerləşən istehlakçıların iş rejiminə, özünəişədüşmənin təsirinin yoxlanılması;
2) mühərrikin sıxaclarında qalıq gərginliyinin hesabatı;
3) mühərrikin momentinin hesablanması;

4) mühərrikin işə salınma və qızma müddətlərinin təyini.

Qidalanmada fasilə zamanı mühərrikin sıxaclarındakı gərginlik onun EHQ ilə təyin olunur, hansı ki, dayanma prosesində tədricən azalır. Rotorun sürəti 20 % azaldıqda forsirovkaya malik olan mühərriklərin gərginliyi nominaldan çox olmur, forsirovkası olmayan mühərriklərdə isə nominalın 60 – 70 % –nə qədər azalır.

Özünəişədüşmə müddətində yük şinində yol verilən gərginlik aşağıdakı tələblərlə təyin olunur:

1. Mühərriklərin və işıqlanmanın eyni yük şinindən qidalanması halında:
   – dövrü və uzunmüddətli işə salma zamanı ($U \geq 0.9$);
   – tək – tək və qısamüddətli işə salma və işə düşmə zamanı ($U \geq 0.8 – 0.85$).
2. Mühərriklərin və işıqlanmanın müxtəlif yük şinlərindən qidalanması halında ($U \geq 0.7–0.8$).
3. Lüminensent işıqlanması zamanı ($U \geq 0.9$).
4. Mühərriklərin blok – transformatordan qidalanması zamanı gərginlik, elektromaqnit momentinin minimal qiyməti ilə məhdudlaşır.

Özünəişədüşmənin həyata keçirilməsi mümkün olmadığı halda mühərrikin avtomatik resinxronlaşdırılmasından istifadə oluna bilər. Sinxronizmə girmə sinxron momentinin maksimum qiymətinin artırılmasına təsir edən təsirlənmənin forsirovkası ilə təmin olunur.

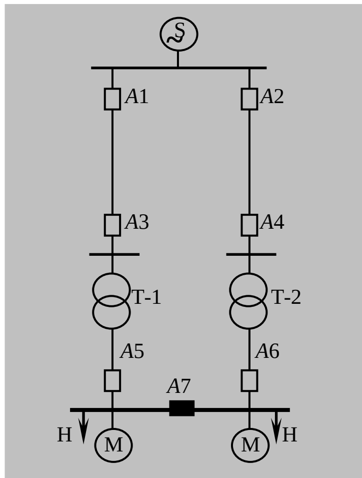
10.10. AVTOMATİK TƏKRAR QOŞMA VƏ EHTİYAT QİDALANMANIN AVTOMATİK QOŞULMASI

Elektrik sisteminin müxtəlif nöqtələrində yaranan QQ –lər keçici ola bilirlər, yəni kiçik zaman fasiləsindən sonra yox (ləğv) ola bilərlər. Bu halda QQ nəticəsində mühafizənin təsirindən açılmış elementin avtomatik təkrar qoşulmasının (ATQ) tətbiqi effektivdir. Əgər zədələnmiş elementin hər üç fazası açılırsa və qoşulursa ATQ üçfazalı, yaxud əgər yalnız zədələnmiş bir, yaxud iki faza açılırsa və qoşulursa birfazalı (fazalar üzrə) ATQ (BATQ) adlanır. Əgər açılma müddətində QQ öz – özünə ləğv olursa və ATQ siklidən sonra normal iş rejimi bərpa olunursa ATQ uğurlu hesab olunur, əgər təkrar qoşma davam edən QQ –yə qoşulursa ATQ uğursuz hesab olunur. Bir, iki və çoxqat ATQ sistemləri və müvafiq olaraq bir, iki və çoxqat təkrar qoşmalar mövcuddur.

QQ – nın açılma anı ilə təkrar qoşma arasındakı zaman intervalı ATQ – nin fasiləsi (pauzası) adlanır. Pauza müddətində QQ yerində mühitin deionizasiyası baş verir və açar başlanğıc vəziyyətinə qayıdır. Elektrik təchizatı sistemində (35kV –yə qədər olan şəbəkələrdə) ATQ –lərin pauzası 0,3...0,5 san qəbul edilir. Bu qiymətlərin təyin olunarkən nəzərə alınır ki, 6...10 kV –luq şəbəkələrdə

deionizasiya başa çatır (0,07...0,09 san), açarın məxsusi qoşulma vaxtı isə təqribən 0,25...0,3 san təşkil edir.

Hava elektrik verilişi xətlərində baş verən bütün qəza açılmalarının 60...90 % –də ATQ elektrik təchizatını bərpa etməyə imkan verir. Transformatorlarda ATQ qurğusunun quraşdırılan hallarında ATQ –nin işləməsini qadağan edən bloklayıcının nəzərdə tutulması vacibdir. Bu hal transformatorun daxilində olan zədələnmələr zamanı mühafizə (məs. qaz mühafizəsi) işlədikdə zədələnmə sahəsinin həcminin böyüməsinin qarşısını alır. Bununla yanaşı məsul mühərriklər üçün onların qəza açılmalarından sonra öz – özünə işə düşməsini təmin edən ATQ nəzərdə tutulur.



Şəkil 10.17. EAQ qurğusundan istifadə olunmaqla qidalandırma sxemi

Ehtiyat qidalanmanın avtomatik qoşulması (EAQ) elektrik təchizatının etibarlılığının yüksəldilməsinin effektiv üsuludur. EAQ qurğusu əvvəllər ektrik stansiyalarının xüsusi sərfiyyatı üçün iştifadə olunmuşdur, lakin sonradan elektrik təchizatı sistemində geniş tətbiq olunmağa başlanmışdır. EAQ–dən istifadə olunmaqla yükün qidalandırılma sxemi şəkil 10.17 –də göstərilib. Normal rejimdə sol və sağ bölmələrdən qidalanan yüklər və ekvivalent mühərriklərin hər biri müxtəlif transformatorlarda qidalanır. Əgər zədələnmə olarsa və sxemin hər–hansı hansı bir elementi (xətt yaxud transformator) açıldıqda normal rejimdə açıq olan A7 açarı vasitəsilə EAQ qurğusu işə düşür. Ehtiyatlanan elementdə gərginlik itdikdə EAQ sisteminin işləməsi həyata keçirilir. EAQ –nin təsir müddəti elektrik təchizatının sxemindən, elektrik mühərriklərinin öz–özünə işə düşmə şərtlərindən və qidalanan birləşmələrin (xətlərin) rele– mühafizə və avtomatika qurğularının işləmə müddətlərindən asılıdır. Ehtiyatlandırılan sahədən qidalanan xətlərdə QQ olduqda EAQ qurğusu işə düşməməlidir. Bu əlavə dözmə müddəti və ya bloklama ilə təmin olunur.

10.11. DİNAMİK DAYANIQLIĞIN HESLANMASINA METODİK VƏ NORMATİV GÖSTƏRİŞLƏR

Dinamik dayanıqlığın hesablamasının məqsədi sistemin bir rejimdən digərinə dinamik keçidin xarakterini təyin etməkdir. Əgər bu zaman heç bir stansiya sinxronizmdən düşmürsə, belə sistem dayanıqlı hesab olunur.

Dinamik dayanıqlığı təyin etmək üçün üç qrupa bölünmüş hesablama həyəcanlanmaları qəbul edilir.

1 –ci qrupa. Gərginliyi 500 kV və ondan aşağı şəbəkə elementinin açılması. Əsas mühafizə işlədikdə BATQ –nin uğurlu və uğursuz işləməsi ilə müşahidə olunan birfazalı QQ .

2 – qrupa. Gərginliyi 500kV –dan yüksək olan istənilən şəbəkə elementinin açılması (atom elektrik stansiyasının gərginliyi 700kV –dan yüksək olan enerjisistemlə əlaqə sxemi üçün). Gərginliyi 500kV –dan yüksək olan elektrik verilişi xəttində birfazalı QQ –dən əsas mühafizə işlədikdə uğursuz BATQ ilə müşahidə olnan açılma. İstənilən gərginlik sinifinə malik elektrik verilişi xəttində çoxfazalı QQ –dən əsas mühafizə işlədikdə uğurlu və uğursuz ATQ ilə müşahidə olunan açılma. ES –də gücünə görə ən böyük generatorun yaxud generatorlar blokunun açılması.

3 – qrupa. Bir trassa ilə daha qısa xəttin yarıdan çox uzunluğunda gedən iki dövrəli yaxud iki xəttin eyni zamanda açılması. Şəbəkə elementinin yaxud generatorun (generatorlar blokunun) açılması ilə yaranan 1 –ci və 2 –ci qrup həyəcanlanmaları, hansı ki, açarlardan birinin təmiri şəbəkənin 2 –ci elementinin açılmasına səbəb olur. Açarlardan birinin imtinası zamanı istənilən gərginlik sinifində olan şinlərdə yaxud EVX –də birfazalı qısaqapanma. Elektrik stansiyasının ümumi gücünün 50% –nə bərabər gücün cəmləşdiyi bir şinlər (bölmələr) sisteminin tam açılması ilə əlaqədar elektrik stansiyasının generatorlarının bir hissəsinin açılması yaxud istənilən başqa səbəb nəticəsində güclərin qəza qeyri – balansının yaranması.

En kəsikdə cərəyan axını	Dinamik dayanıqlığı təmin olunan həyəcanlanmaların qrupları	
	Normal sxem zamanı	Təmir sxemi zamanı
Normal	1,2,3	1,2
Ağırlaşdırılmış	1,2	1

Verilmiş en kəsikdə yüksək gərginlik sinifli xətt açıldığı zaman dayanıqlıq saxlanıla bilər, əgər:

- statik dayanıqlıq həddi 70% - dən çox azalarsa;

- qalan əlaqələr üzrə statik dayanıqlıq həddi həmin en kəsikdə qeyri – müntəzəm rəqslərin hesabat amplitudunun üç qatından çox olmur.

YOXLAMA SUALLARI

1. Dinamik dayanıqlığın əsas hesablama metodlarını bir – bir sayın.
2. Dinamik dayanıqlığın qrafik metodla analizini mahiyyəti nədən ibarətdir?
3. Qısaqapanmanı açmağın bucaq həddi nə deməkdir?
4. Dinamik dayanıqlığın analizi zamanı generatorun tənliyinin hansı həll metodlarından istifadə olunur?
5. Mürəkkəb sistemin dinamik dayanıqlığının hesablama alqoritmini göstərin.
6. Mühərrik yükünün dinamik dayanıqlığı necə qiymətləndirilir?
7. Mühərrikin işə salınma rejiminin xüsusiyyətləri hansılardır?
8. Mühərriklərin özünəişədüşməsi və qrup şəkilində işə salınması nə deməkdir?

F ə s i l 11

ELEKTRİK SİSTEMLƏRİNDƏ ASİNXRON REJİMLƏR

Generatorun və ya mühərrikin elə iş rejimləri asinxron adlanır ki, həmin rejimlərdə rotorun fırlanma sürəti sinxrondan xeyli meyletmiş olur. Asinxron rejimlərə aiddir:

– sinxron maşının sinxronizmdən düşdükdən sonrakı iş rejimi;

– mühərriklərin yaxud sinxron kompensatorların asinxron işə salınması;

– mühərriklərin öz – özünə işə düşməsi.

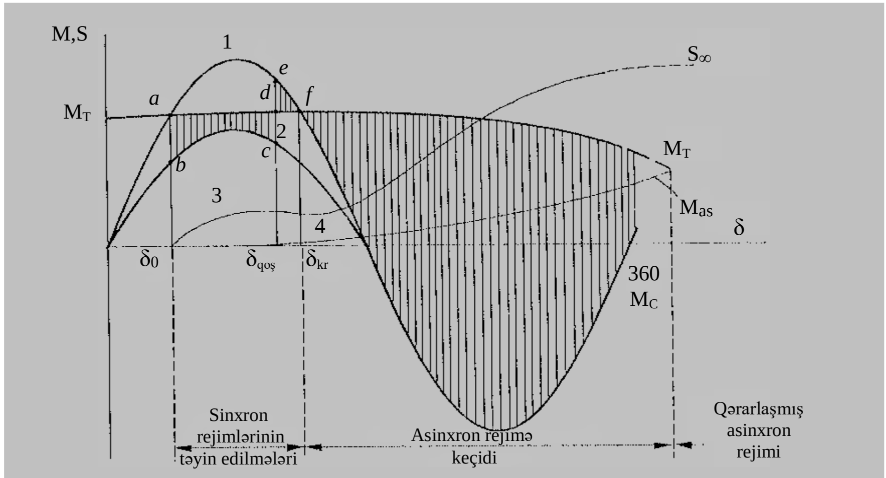
Asinxron rejimdə sinxronizmdən düşmüş sinxron maşının EHQ vektoru, sinxron işləyən maşının EHQ –nə nisbətən fırlanır.

11.1. ASİNXRON REJİMİN YARANMASI

Asinxron rejim sinxron maşının təsirlənməsini itirməsi səbəbindən dinamik dayanıqlığın pozulması nəticəsində yarana bilər.

Dinamik dayanıqlığın pozulması səbəbindən generatorun asinxron iş rejiminə keçməsinə baxaq (şəkil 11.1). Belə hesab edək ki, şəkil 10.1, *a* –da

göstərilən sxemdəki elektrik verilişi xətlərindən biri qəflətən açılır, sonra yenidən qoşulur. Bu zaman *1* xarakteristikasından *2* xarakteristikasına və əksinə keçid baş verir (şəkil 11.1). Lakin qoşma bucağı $\delta_{qoş.}$ o qədər böyükdür ki, sürətləndirmə sahəsi (f_{abcd}) mümkün olan ən böyük tormozlama sahəsindən (f_{def} –dən) böyük olur.



Şəkil 11.1. Sinxron generatorun asinxron rejimə keçidi: normal və asinxron rejimlərdə güc xarakteristikaları (*1, 2* əyriləri); xəttin sürüşməsinin və asinxron momentin dəyişməsi (*3, 4* əyriləri)

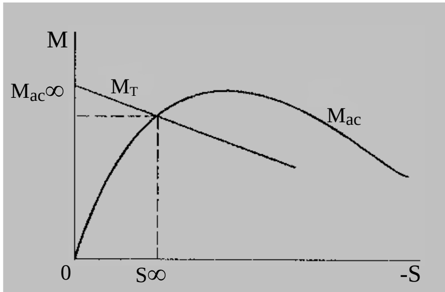
Ekvivalent generatorun (G –nin) vektorunun bucağı δ_{kr} kritik qiyməti aşır. Rotora sürətləndirici izafi moment təsir etməyə başlayır ki, o bundan sonra δ bucağının artmasına gətirib çıxarır.

Rotorun sürəti sinxrondan fərqlənən kimi sürüşmə (*S*) yaranır və sürətlər arasındakı fərq artdıqca o da artır. Sürüşmə asinxron momentin yaranmasına səbəb olur ki, o da generatorun sıxaclarındakı gərginlikdən və onun parametrlərindən asılıdır və [17] dərsliyində verilən (4.61, *b*) formulası ilə təyin olunur. Belə ki, təqribi olaraq $P_{as} = M_{as} = \varphi(S)$ qəbul etmək olar.

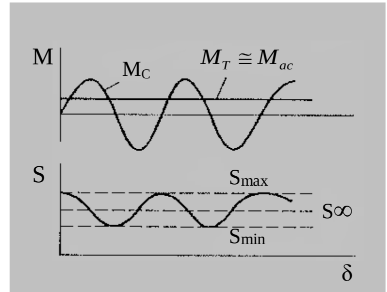
Sürüşmə artdıqca turbinin güc tənzimləyicisi təsir etməyə başlayaraq P_T – ni azaldır. Sinxron gücün xarakteri dəyişərək döyünən xarakterli olur və sürüşmənin funksiyası olaraq, o da öz növbəsində sürüşməyə təsir edərək onun döyünməsini yaradır. S_∞ sürüşmənin müəyyən qiymətində turbinin momentin orta asinxron momentlə bərabərləşəcək, yəni $M_T = M_{as}$ olacaq. Bu şərt qərarlaşmış asinxron rejimin (gedişin) başlanğıcını müəyyən edir.

11.2. QƏRARLAŞMIŞ ASİNXRON REJİM

Qərarlaşmış asinxron gediş S_∞ sürüşməsi ilə xarakterizə olunur və şəkil 11.2 –yə uyğun olaraq turbinin moment xarakteristikası ilə asinxron moment xarakteristikasının kəsişmə nöqtəsi ilə təyin olunur. Əgər sinxronizmdən düşmüş maşın təsirlənmişdirsə, o zaman bir – birini qarşılıqlı tarazlaşdıran asinxron momentlə turbinin momentindən başqa generator – turbin valına həmçinin sinxron fırladıcı moment təsir edəcəkdir. Bu dəyişənişarəli moment asinxron rejimdə rotorun fırlanma sürətinin periodik dəyişməsini, nəticə etibarı ilə S_∞ özünün orta qiymətinin ətrafında S_{min} –dan S_{max} –a qədər dəyişən sürüşmənin döyünməsini yaradır (şəkil 11.3)



Şəkil 11.2. Qərarlaşmış asinxron rejimdə sürüşmənin təyini



Şəkil 11.3. Asinxron rejimdə asinxron momentin və sürüşmənin dəyişməsi

Aydın görünür ki, sinxron momentin amplitudu nə qədər böyük olarsa, döyünən sürüşmənin maksimal və minimal qiymətləri arasındakı fərq o qədər çox olar. Asinxron rejimdə generatorun rotorunun hərəkət tənliyi aşağıdakı şəkildə yazıla bilər:

$$T_j \frac{d^2\delta}{dt^2} = M_T - M_s - M_{as} = \Sigma M. \qquad (11.1)$$

Bu bərabərliyin sol tərəfinə sürüşmə daxil edərək onu çeviririk. Mühərrikin rotorunun təcili aşağıdakı şəkildə yaza bilərik

$$\frac{d^2\delta}{dt^2} = \frac{d\Delta\omega}{dt}, \qquad (11.2)$$

burada $\Delta\omega = \omega - \omega_0$ rotorun cari və sinxron sürətləri arasındakı fərqdir. Nisbi vahidlərdə bu aşağıdakı kimi təqdim oluna bilər:

$$\Delta\omega_* = \frac{\omega - \omega_0}{\omega_0} = s. \qquad (11.3)$$

(11.3) formulasını (11.2) –də yerinə yazsaq, alarıq

$$\frac{d^2\delta}{dt^2} = \frac{d\Delta\omega_*}{dt}\frac{d\delta}{d\delta} = \Delta\omega_*\frac{d\Delta\omega}{d\delta} = s\frac{dS}{d\delta}.$$

Ona görə də, (11.1) tənliyi aşağıdakı şəkildə yazıla bilər

$$T_j s\frac{dS}{d\delta} = \Sigma M. \qquad (11.4)$$

Fərz edək ki, $M_T = f(S)$, $M_{as} = \xi(S)$ δ bucağının funksiyası kimi verilmişdir. Onda (11.4) tənliyini inteqrallayaraq, alarıq

$$T_j\left(\frac{S_{max}^2}{2} - \frac{S^2}{2}\right) = \int_{\delta}^{\delta_{max}} \Sigma M d\delta,$$

Buradan zamanın istənilən anında sürüşmənin qiymətini aşağıdakı kimi tapmaq olar

$$S = \sqrt{S_{max}^2 - \frac{2}{T_j}T_j\int_{\delta}^{\delta_{max}} \Sigma M\, d\delta}. \qquad (11.5)$$

11.3. SİNXRON GENERATORLARIN VƏ MÜHƏRRİKLƏRİN RESİNXRONLAŞDIRİLMASİ

Əksər sinxron maşınlar üçün asinxron rejim təhlükə törətmir. Bu rejimin yol verilməsinə şübhə sistemin qalan hissəsində işləyən güclü generatorların asinxron işləməsi nəticəsində dayanıqlığın pozulması təhlükəsi səbəbindən yarana bilər. Bu rejimdə generator adətən sistemdən xeyli reaktiv güc istehlak edir. Bu işə stator

cərəyanının artmasına səbəb olur. Stator cərəyanının son hədd qiyməti məhdud olduğuna görə generatorun aktiv gücü də nominal gücün 50...70 % –i həddində məhdudlaşır, vahid gücü böyük olan generatorlarda isə bu qiymət 30...50% həddindədir. Bu sistemdə aktiv gücə görə defisitin yaranmasına gətirib çıxarır ki, bu da asinxron rejimin əsas çatışmayan cəhəti hesab olunur.

Asinxron rejimdə işləmə imkanı və onun davam etmə müddəti generatorun özünün zədələnmə təhlükəsi baxımından məhdudlaşır. Turbogeneratorların asinxron rejimdə 15...30 dəqiqə işləməsinə icazə verilir, hidrogeneratorların işləməsi isə daha qısamüddətlidir və bir neçə dəqiqə təşkil edir.

Sinxronizmdən düşmüş generatoru şəbəkədən açmadan normal işləməsini bərpa etmək mümkündür. Ona bir müddət asinxron rejimdə saxlamaq, sonra isə r e s i n x r o n l a ş d ı r m a ilə onu yenidən sinxronizmə girməyə məcbur etmək.

Müvəffəqiyyətli resinxronlaşdırmanın şərtlərindən birini (11.6) ifadəsindən istifadə etməklə almaq olar. Əgər asinxron rejimdə işləyən generatorun sürüşməsi sıfıra bərabər olarsa, bu generatorun sinxron fırlanma sürəti ilə fırlanmğa başladığına işarədir, bu zaman

$$S_{\max}^2 = \frac{2}{T_j} \int_{\delta}^{\delta_{\max}} \Sigma M \, d\delta.$$

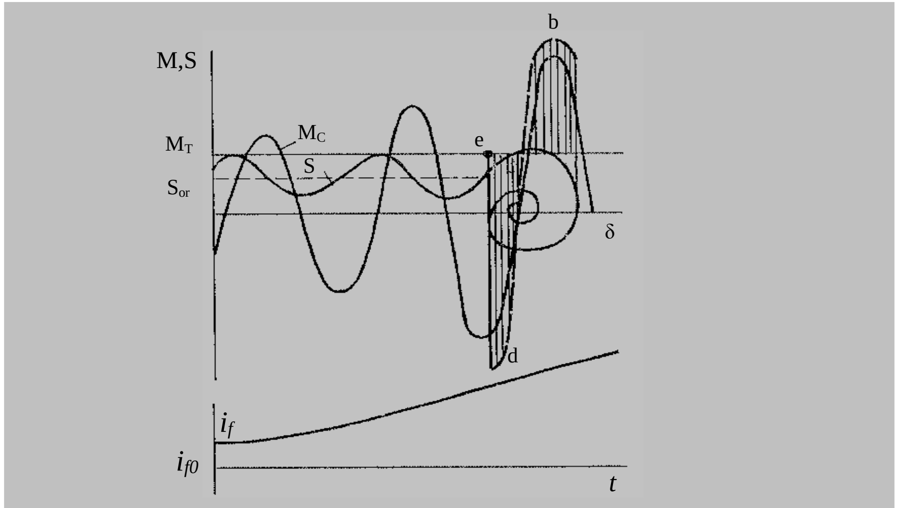
Bu halda sürüşmənin orta qiyməti

$$S_{or} = \sqrt{\frac{1}{2T_j} \int_{\delta}^{\delta_{\max}} \Sigma M \, d\delta}.$$

Generatoru sinxronizmə cəlb olunmasə üçün $S = 0$ şərti zəruridir, lakin kafi deyildir. İkinci şərti aşkar etmək üçün şəkil 11.4 –də göstərilən resinxronlaşdırma prosesinin gedişinə baxaq. Fərz edək ki, təsirlənmə cərəyanının artırılması sinxron fırlanma momentini artırır, bü isə öz növbəsində sürüşmənin döyünməsinin artmasına səbəb olur.Sinxron momentin hansısa bir qiyməti zamanı sürüşmə sıfırdan keçəcək. Bu sinxron rejimin başlanmasını təsdiq edir. Asinxron rejimdə generatorun hərəkətini müəyyən edən artıq moment üç mürəkkəbədən ibarətdir:

$$\Sigma M = M_T - M_s - M_{as},$$

burada M_T – turbinin momenti; M_s, M_{as} – sinxron və asinxron momentlərdir. Sürüşmə sıfıra bərabər olduğu zaman asinxron moment də sıfıra bərabər olur. Buna görə də generatorun sinxronizmə salınma (cəlb olunma) şərti $M_s > M_T$ olac aqdır.



Şəkil 11.4. Sinxron generatorun resinxronlaşdırılması

Momentlərin belə nisbəti və $S = 0$ olduqda generatorun valına tormozlayıcı izafi moment təsi edir ki, o δ bucağını azaldır. Generatorun rotoru δ bucağının azaldılmasına doğru hərəkət etməyə başlayır, tormozlama sahəsi *abc* sürətləndirmə sahəsi *cde* ilə tarazlaşır və *c* nöqtəsi yaxınlığında sönən rəqslər əmələ gəlir. Təsirlənmə cərəyanının artmasının davam etməsi səbəbindən sahənin hesablanmasına sinxron momentin yüksək təsirlənmə cərəyanına (qırıq – qırıq xətlə təsvir olunub) uyğun xarakteristikasından başlanır. Qeyd etmək lazımdır ki, resinxronlaşma prosesində təsirlənmə cərəyanının artırılması generatorun sinxronizmə daha tez cəlb olunmasına, δ bucağının rəqslərinin zamana görə sakitləşdirilməsinə (dempferlənməsinə) kömək edir.

Əgər $M_s > M_T$ şərti yerinə yetirilmirsə, onda resinxronlaşdırma uğursuz olacaq, bucaq artmaqda davam edəcək, generator isə asinxron rejimdə qalacaq.

Sinxronizmə cəlb olunduqdan sonra turbinin sürət tənzimləyicisi enerji daşıyıcısının turbinə buraxılışını artırmağa başlayır ki, bunun da nəticəsində turbinin momenti artmağa başlayır. Bu sürətləndirmə (təcil) sahəsinin artırılmasına və tormozlama sahəsinin azaldılmasına gətirib çıxarır ki, o da yırğalanmanın növbəti tsikllərindən birində sinxronizmdən düşməni yarada bilər. Sinxronizmdən düşmədən qorunmaq, təsirlənmə cərəyanını lazimi şəkildə tənzimləməklə mümkündür.

Resinxronlaşdırma prosesini turbinlərin və onların sürət tənzimləyicilərinin xarakteristikaları nəzərə alınmaqla ardıcıl intervallar metodu ilə hesablamaq olar.

Sinxron mühərriklərin sinxron rejiminin bərpa olunması texniki təhlükəsizliyin yaxud istehsalın texnologiyası şərtləri üzrə məsul mexanizmlərin işdə saxlanılmasının vacibliyi ilə yerinə yetirilir. O, müxtəlif üsullarla həyata keçirilə bilər:

– resinxronlaşdırmaqla;

– resinxronlaşdırmaqla işçi mexanizmin yükünü avtomatik olaraq o dərəcədə azaltmaq (əgər bu yol veriləndirsə) ki, mühərrikin sinxronizmə cəlb olunması təmin olunur;

– mühərriki açmaq və təkrarən onu avtomatik işə salmaqla.

Axırıncı üsulla mühərrikin təsirlənməsini saxladıqda onun sinxron qoşulması mühüm əhəmiyyət daşıyır. Sinxronlaşdırılan mühərrikin və şəbəkənin gərginlik vektorları fazalara görə üst – üstə düşmədikdə qoşulmanın zərbə cərəyanı yaranır və o, təqribi olaraq aşağıdakı kimi təyin oluna bilər:

$$I_{zer.qoş.} = \sqrt{2}\,\frac{1.8\Delta E''}{\left(x''_M + x_s\right)},$$

burada E'' – mühərrikin E''_q EHQ – si ilə şəbəkənin gərginliyi arasında həndəsi fərqdir;

x''_M və x_s – mühərrikin və sistemin müqavimətləridir.

$\delta = \pi$ olduqda zərbə cərəyanı ən böyük qiymətə malik olur və mühərrikin qoşulması zamanı onun dolağını zədələyə bilər.

Bunun qarşısını almaq üçün sürətli sinxronlaşdırmadan istifadəetmək olar [8]. Əgər sürətli sinxronlaşdırmanı həyata keçirən qurğunun işi sinxronlaşdırılan şinlərdə gərginliklərin ani qiymətlərinin qeydiyyatına əsaslanmışdırsa, o zaman resinxronlaşdırmanı həyata keçirən açarın çıxışları üzrə daima gərginliklərin qiymətlərinin müqayisəsi yerinə yetirilir. Elə ki, $\Delta U = U_1 - U_2$ fərqi, ölçünün xətasından asılı olaraq əvvəlcədən verilən ε –nun qiymətindən çox olur $\mathbf{U}_1$ və $\mathbf{U}_2$ vektorlarının aralanmasının təcili təyin olunmağa başlanır:

$$\alpha = \frac{\omega_1 - \omega_2}{\Delta t},$$

burada ω_1 və ω_2 – $\mathbf{U}_1$ və $\mathbf{U}_2$ gərginlik vektorlarının fırlanma sürətləridir;

Δt – sürətin ω_1 – dən ω_2 – yə qədər artmasının baş verdiyi müddətdir.

Təcil təyin olunduqdan sonra cari bucaq və qabaqlama bucağı hesablanır. Cari bucaq U_1 və U_2 gərginliklərinin sıfırdan keçmə anına görə təyin edilir. Mühərrikin rotorunun bucağının $\delta = 2\pi$ qiymətində dönməsindən sonra onu

qoşmaq üçün zamanı bir qədər qabaqlama ilə açarın qoşulmasına komanda vermək lazımdır. Bu zaman qabaqlama bucağını aşağıdakı nisbətdən təyin edirlər:

$$\delta_{qab} = St_{q.m} + \frac{\alpha t_{q.m}}{2},$$

burada S, α – rotorun sürüşməsinin və sürətlənməsinin cari qiyməti;

$t_{q.m}$ – mühərrikin qoşulmasının məxsusi zaman müddətidir.

Açarın işləmə şərti $\delta_{aç.} = \delta_{işlə.} + \delta_{qab.} > 2\pi$ şəkilində yazılar. Bunun yerinə yetirilməsi zamanı açarın qoşulmasına siqnal verilir. Mühərrikin qidalanmasının qısa müddətdə itməsi halında qeyd olunan bu alqoritm sürətli sinxronlaşdırmanı təmin edir. Qidalanmanın itməsi qidalandırıcı şəbəkədə QQ nəticəsində yaxud onun açılması və sonradan onun yenidən ATQ qurğusu ilə qoşulması səbəbindən ola bilər.

YOXLAMA SUALLARI

1. Asinxron gedişin baş verməsinin səbəbi nədən ibarətdir?
2. Qərarlaşmış asinxron rejim nə vaxt baş verir?
3. Qərarlaşmış asinxron rejimin hansı xüsusiyyətləri vardır?
4. Sinxron maşının resinxronlaşdırılması prosesinin mahiyyəti nədən ibarətdir?
5. Müvəffəqiyyətli resinxronlaşdırılmanın şərtlərini deyin.

F ə s i l 12

ELEKTRİK SİSTEMLƏRİNİN DAYANIQLIĞININ YAXŞILAŞDIRILMASI ÜZRƏ TƏDBİRLƏR

Elektrik sisteminin dayanıqlıq səviyyəsini artırmaq onun elementlərinin parametrlərini, onun rejimin parametrlərini dəyişdirməklə yaxud əlavə qurğular daxil etməklə mümkündür. Bununla yanaşı aşağıda göstərilən şərtləri və məhdudiyyətləri nəzərə almaq lazımdır:

– əsas elementlərin parametrlərinin dəyişdirilməsi sistemin normal iş rejiminin və onun qənaətliyinin pisləşməsinə səbəb olmamalıdır;
– dayanıqlığın yüksəldilməsi üçün tələb olunan qurğunun tətbiqi həmin qurğunun dəyəri ilə hər hansı səbəbdən dayanıqlığın pozulması

nəticəsində dəyəcək (qurğunun tətəbiqindən sonra qaşısı alınacaq) ziyan müqayisə olunaraq göstərilməlidir. Dayanıqlığın yüksəldilməsi üzrə tədbirlərin seçilməsi zamanı təklif olunan variantın texniki – iqtisadi qiymətləndirilməsi lazımdır.

12.1. ELEKTRİK SİSTEMİ ELEMENTLƏRİNİN PARAMETRLƏRİNİN YAXŞILAŞDIRILMASINA ƏSASLANAN TƏDBİRLƏR

Generatorlar. Generatorların parametrləri həm statik, həm də dinamik dayanıqlığa kifayət qədər təsir edir.

Generatorlarda qeyri – həssas zonalı TAT –dan istifadə olunduqda statik dayanıqlığa sinxron induktiv müqvimət – x_d, dinamik dayanıqlığa isə keçid müqaviməti x'_d və inersiya sabiti T_j təsir edir. Resinxronlaşdırmanı həyata keçirən zaman asinxron rejimdə qedən proseslər dempfer dolağının olması və konstruksiyası ilə təyin olunur ki, bunlar da öz əksini x''_d x''_q parametrlərində tapır.

Hidrogeneratorlar fərdi hazırlandıqları üçün yalnız onların induktiv müqavimətlərinin dəyişdirilməsi imkanı vardır. Bəzi su elektrik stansiyalarında (SES) “yaxşılaşdırılmış” parametrli xüsusi hidrogeneratorlar quraşdırılmışdır. Buna misal olaraq Rusiya Vahid enerjisistemində istismarda olan “Vojski” SES –i göstərmək olar. Bu stansiyada quraşdırılan hidrogeneratorların müqavimətləri adi hidrogeneratorlara nisbətən təxminən iki dəfə azaldılmışdır (x_d = 0,51, x'_d = 0,19), inersiya sabiti isə 0,16 saniyəyə qədər artırılmışdır. Turbogeneratorlar və mühərriklər adətən vahid seriyalarla hazırlandıqlarından onların parametrlərinin dəyişdirilməsi çətin həyata keçirilir.

İnersiya sabiti maşının dinamik dayanıqlığına kifayət qədər təsir edir. Maşın nə qədər “ağır” (T_j böyük olduqca) olarsa onun rotorunun sürəti əlavə momentin təsiri altında bir o qədər yavaş dəyişir. Bu sistemin dayanıqlığını artırmaqla qəza rejiminin davamiyyətinin yol verilən hədd qiymətini artırır.

Sinxron maşının təsirlənməsinin tənzimlənməsinə onun parametrlərinin “yaxşılaşdırma” vasitəsi kimi baxıla bilər. Bu yüksək qiymətə malik təsirlənmə cərəyanlı generatorun cəldtəsirli tənzimləyicisi, dinamik dayanıqlığın yüksəldilməsi üzrə əlavə qurğu ilə birlikdə induktiv müqavimətin azaldılmasından imtina etməyə imkan verir. İmkan yaranır ki, x_d = 1,5...2,0 və x'_d = 0,3...0,4 parametrli generator tətbiq olunsun, maşının çəkisini azaltmaqla onun inersiya sabiti azaldılsın və müvafiq olaraq onun qiyməti azaldılsın.

Təsirlənmənin ən yüksək gərginliyi generatorun verdiyi gücün həddinə nəzərə çarpacaq dərəcədə təsir edir. Bu qiymətin 2 –dən 5 –ə qədər artırılması x_d reaktivliyinin 1,5 dəfə azaldıldarkən alınan effekt qədər effekt verir.

Təsirlənmənin artma sürəti dinamik dayanıqlığın səviyyəsinə əhəmiyyətli dərəcədə təsir edir. “Yüksəkreaksiyalı” təsirlənmə sistemlərində dU_t/dt nisbətinin qiyməti saniyədə bir neçə kilovolt olaraq 6...8 –ə qədər çatır. Odur ki, dinamik dayanıqlığın səviyyəsini yüksəltmək üçün lazımdır ki, gərginlik yüksək sürətlə və ən yüksək səviyyəyə artsın.

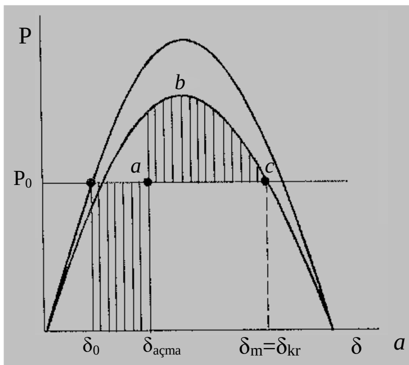
Statik dayanıqlığı yaxşılaşdırmaq üçün qeyri – həssaslıq zonasının olmaması, təsirlənmənin fasiləsiz tənzimlənməsi, tənzimlənmənin yalnız tənzimlənən parametrlərin meyletməsinə görə deyil, həmçinin onların birinci və ikinci törəməsi ilə həyata keçirmək vacibdir.

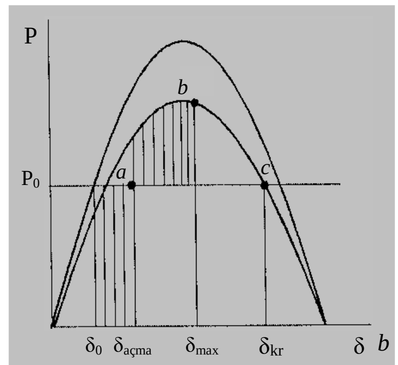
Transformatorlar. Transformatorların parametrləri (müqaviməti, maqnitləşdirici cərəyanı və s.) elektrik sisteminin dayanıqlığına əhəmiyyətli dərəcədə təsir göstərmir.

Açarlar. Dinamik dayanıqlığı yaxşılaşdırmaq üçün QQ –nın tez bir zamanda açılmasının həlledici əhəmiyyəti vardır. Qısaqapanmanın açılma müddəti açarın məxsusi zaman müddəti ilə rele mühafizəsinin təsir müddətinin cəmindən ibarətdir:

$$T_{açma} = t_{aç} + t_{r.m}.$$

Müasir hava açarlarının məxsusi zaman müddəti (mühafizədən solenoidin sarğacına impulsun verilmə anından kontaktların aralanmasına və qövsün söndürülməsinə qədər keçən müddət) 0,06...0,08 saniyə təşkil edir. Cəldtəsirli rele mühafizəsi 0,02...0,04 saniyəyə işləyir. Odur ki, QQ –nin açılma müddəti 0,1...0,12 san. qəbul olunmalıdır. Sonradan bu müddətin 0,05 – 0,08 saniyəyə qədər azaldılması mümkündür. Lakin bu halda keçid prosesinin rele mühafizəsinə təsirini diqqətlə yoxlamaq lazımdır.





Şəkil 12.1. Cəldtəsirli açarların dinamik dayanıqlığına təsiri

Qısaqapanmanın açılma müddətinin azaldılması, şəkil 12.1 –dən göründüyü kimi dinamik dayanıqlığın ehtiyatını artırır. Şəkil 12.1, *b* –də QQ –nın açılma bucağı şəkil 12.1, *a* –ya nisbətən azalmışdır. Bu dinamik dayanıqlığın ehtiyatını əhəmiyyətli dərəcədə artırır.

Elektrik verilişi xətti. Xəttin parametrləri və onların nominal qiymətləri sistemin dayanıqlığına əhəmiyyətli dərəcədə təsir edir.

Ötürülən gücün hədd qiymətinə xəttin nominal gərginliyinin təsirini təyin etmək üçün $U_b \cong U_{nom}$ qəbul edərək (3.10) – (3.12) ifadələrindən istifadə edək, onda

$$x_{G*b} = x_{G*n}\frac{S_b}{S_{nomG}}, \quad x_{T*b} = \frac{U_K\%}{100}\frac{S_б}{S_{nomT}}, \quad x_{L*b} = x_0 l\frac{S_b}{U_{nomL}^2}.$$

Burada x_{G*b} və x_{T*b} müqavimətləri U_{nomL} –dən asılı deyil, lakin x_{L*b} gərginliyin kvadratına mütənasibdir. Generator, xətt və transformatordan ibarət olan və *U* gərginlikli şinlər sisteminə işləyən elektrik verilişinin güc ötürmə həddinin qiyməti aşağıdakı formula ilə təyin olunur:

$$P_{hedd} = \frac{E_G U}{x_{G*b} + x_{T*b} + \dfrac{x_0 l S_b}{U_{nomL}^2}} = \frac{E_G U}{\left(x_{(G-T)\Sigma} + \dfrac{a}{U_{nomL}^2}\right)}$$

buradan görünür ki, xəttin nominal gərginliyinin artması $P_{hədd}$ –i artırır və bu artım, xəttin uzunluğu çox olduqca daha da çox olur.

Xəttin induktiv müqaviməti xətt naqilinin en kəsiyini hissələrə bölməklə azaltmaq olar. Bu, həmçinin tac itkisini azaltmaq məqsədilə də istifadə olunur. Faza naqilinin en kəsiyinin bölünərək üç hissəyə bölünməsi (500 kV –luq HX) xəttin reaktiv müqavimətini 25 – 30% azaldır.

Xəttin induktiv müqavimətinin azaldılmasını xəttə ardıcıl olmaqla statik kondensatoru qoşaraq unun uzununa reaktiv (tutum) müqavimətini kompensasiya etməklə həyata keçirmək olar. Bu zaman xəttin ekvivalent müqaviməti (parametrlərin paylanması nəzərə alınmaqla) aşağıdakı kimi təyin olunacaq

$$x_{ekv} = x_0 l - x_c.$$

Kondensatorun x_c müqaviməti nə əqədr çox olarsa, xəttin parametrlərinin kompensasiya dərəcəsi bir o qədər yüksək olacaq və müvafiq olaraq elektrik verilişinin güc ötürmə həddi (tərkibində kompensasiya olunmuş xətt olmaqla)

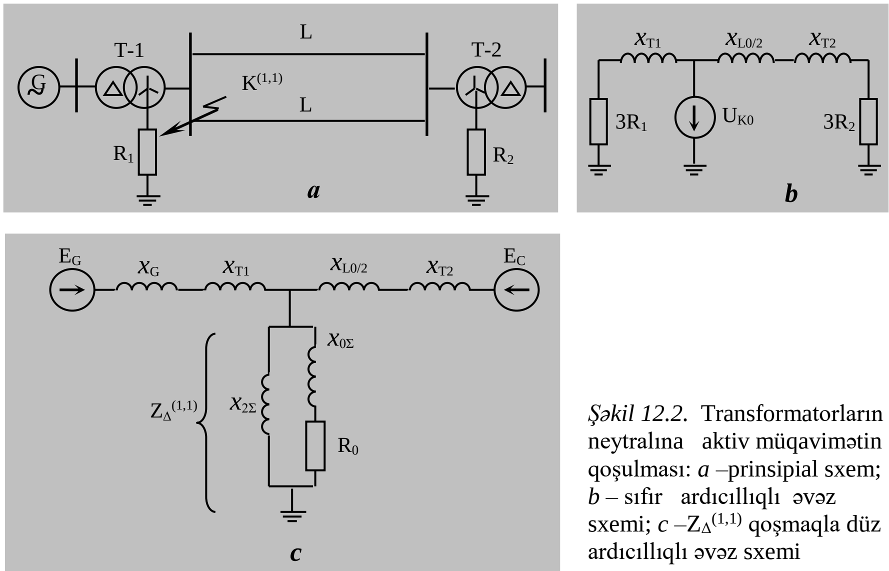
yüksək olacaq. Uzaq məsafələrə elektrik verilişində xətlə ötürülən güc həddini artırmaq üçün xəttin uzununa hissəsində aralıqda sinxron kompensatorlar və idarəolunan kondensatorlar quraşdırırlar.

Elektrik təchizatı sistemlərində uzununa tutum kompensasiyasından güclü cərəyankeçiricilərdə gərginlik düşgüsünü azaltmaq və yük mühərriklərinin dayanıqlığını artırmaq üçün isifadə olunur.

12.2. DAYANIQLIĞIN SƏVİYYƏSİNİ ARTIRMAQ ÜÇÜN ƏLAVƏ QURĞULAR

Transformatorun neytralına qoşulmuş müqavimət. Əgər neytralı yerlə birbaşa birləşdirilmiş şəbəkənin neytralını onun neytralının gərginliyini yüksəltməyən kiçik bir müqavimət vasitəsilə yerlə birləşdirsək, onda izolyasiyanın işləmə şəraiti dəyişmir, lakin qeyri – simmetrik QQ zamanı sistemin dinamik dayanıqlığı yaxşılaşır.

Şəkil 12.2 *a*–də göstərilən elektik verilişi sxemində qeyri–simmetrik QQ–yə baxaq. Aktiv müqavimətlər nəzərə alınmaqla sıfır ardıcıllıqlı əvəz sxemi



Şəkil 12.2. Transformatorların neytralına aktiv müqavimətin qoşulması: *a* –prinsipial sxem; *b* – sıfır ardıcıllıqlı əvəz sxemi; *c* –$Z_\Delta^{(1,1)}$ qoşmaqla düz ardıcıllıqlı əvəz sxemi

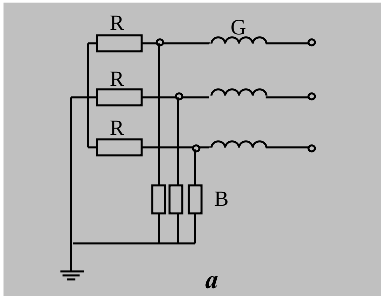
şəkil 12.2, *b* –də göstərilib. Sxemdən görünür ki, aktiv müqavimət sıfır ardıcıllıqlının ümumi müqavimətini artırır:

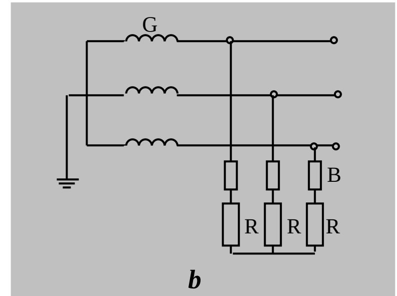
$$Z_{0\Sigma} = (3R_1 + jx_{T1})//[(3R_2 + j(x_{L0}/2 + x_{T2}))].$$

Bunun nəticəsində də QQ şuntunun müqaviməti artır.

$$Z_{\Delta}^{(1.1)} = x_{2\Sigma} // Z_{0\Sigma}.$$

Onda (10.2) ifadəsinə müvafiq olaraq düz ardıcıllıqlı sxemin (şəkil 12.2, *c*) qarşılıqlı müqviməti azalacaq. Bu qəza rejiminin güc xarakteristikasının amplitudunun artmasına səbəb olacaq (şəkil 10.3 – də *2* xarakteristikasına baxın) *abcd* sahəsini azaldacaqdır. Sürətləndirmə sahəsinin azaldılması dinamik dayanıqlığı artırır.





Şəkil 12.3. Generatorların elektriki tormozlanması: *a* – ardıcıl; *b* – paralel qoşma

Generatorların elektriki tormozlanması simmetrik QQ zamanı dayanıqlığın yüksəldilməsi üçün istifadə olunur. Rotoru hər hansı səbəbdən həyəcanlanaraq sürətlənən generator, ardıcıl yaxud paralel qoşulmuş müqavimətlər vasitəsilə tormozlanır (şəkil 12.3). Müqavimətlərin paralel qoşulması daha effektivlidir.

Turbinin tənzimlənməsi. Generatorun həyəcanlanması zamanı yaranan gücün qeyri – balansı turbinin gücünün azaldılması ilə azaldıla və yaxud tamamilə kompensasiya oluna bilər. Əgər turbinin tənzimləyicisi inersiyası olmazsa, yəni elektrik gücünün dəyişməsinə ani olaraq reaksiya verərsə, müvafiq olaraq mexaniki gücü dəyişər, onda dinamiki dayanıqlığın mümkün ola biləcək pozulması aradan qaldırılmış olar. Lakin turbinlərin adi tənzimləyiciləri xeyli qeyri – həssaslıq zonalı inersiyalı sistemdir. Generatorların yırğalanması zamanı onlar sürətin dəyişməsinə

reaksiya vermirlər. Bundan başqa nəzərə almaq lazımdır ki, enerjidaşıyıcının buraxılmasının ani olaraq tez bir zamanda dayandırılması hidravlik zərbəyə (hidroturbin olduqda) səbəb olur və ya buxar turbinin tənzimləyici klapanı ilə birinci cərgə ucluqlar arasındakı həcmdə buxarın genişlənməsinə səbəb olur. Bu hadisə tənzimləmə sistemində əlavə mexaniki qüvvə yaradır.

Qaz turbinləri böyük tənzimləmə qabiliyyətlərinə malikdirlər. Bu turbinlərdə sinxron generatorların yırğalanması zamanı mexaniki gücün tez bir zamanda dəyişməsi mümkün olur.

12.3. DAYANIQLIĞIN YÜKSƏLDİLMƏSİ ÜZRƏ REJİM TƏDBİRLƏRİ

Sistemin elementlərinin parametrlərini dəyişdirmədən və əlavə elementlər daxil etmədən statik və dinamik dayanıqlığın səviyyəsini yüksəltmək olar. Sistemin rejimlərinin parametrlərini məqsədəyönlü dəyişdirərək, zəruri güc ehtiyatını təmin etməklə dayanıqlıq ehtiyatını əhəmiyyətli dərəcədə artırmaq olar.

Elektrik stansiyalarında *aktiv güc ehtiyyatı* həm statik, həm də dinamik dayanıqlığı yüksəldir. Bir neçə növ ehtiyatlar vardır: qəza, yükə görə, təmir. Güclü elektrik verilişi xəttinin açılması yaxud generatorların sinxronizmdən düşməsi zamanı daxil edilən fırlanan qəza ehtiyatı ancaq keçid proseslərinin yaxşılaşdırılmasına kömək edə bilər. Minimal vacib olan ehtiyatın qiyməti ən ağır qəzanın ehtimalı olunması ilə təyin olunur və sistemin sxemindən, təsirlənmənin tənzimləmə üsulundan və s. asılıdır.

Generatorların tam yüklənməməsi hesabına alınan *reaktiv güc ehtiyyatı* reaktiv gücün ilkin rejimində dayanıqlığın zəifləməsinə səbəb olur. Bu halda generator kiçik təsirlənmə cərəyanı və böyük başlanğıc bucağı ilə işləyir.

Tezliyə görə yükün avtomatik azaldılması (TYA). Sistemdə tezliyin azalması aktiv gücə görə balansın pozulması səbəbindən yaranır, yəni tələb olunan aktiv yükün gücü generatorların verdiyi gücdən çox olduqda yaranır. Tezlik azalan zaman generatorların istehsal etdiyi reaktiv güc azalır, lakin yükün istifadə etdiyi reaktiv güc artır. Bu yük düyünündə gərginliyi aşağı salır və bəzi hallarda tezlik və gərginliyin selvari azalmasına səbəb olur ki, bunun da nəticəsində istehlakçıların kütləvi şəkildə açılması və paralel iş rejiminin dayanıqlığının pozulması baş verir. Tezlik təhlükəli həddə qədər azaldıqda elektrik sisteminin yükünün bir hissəsi avtomatik olaraq dövrədən açılır. TYA həm elektrik sisteminin dayanıqlığını artırır, həm də onun ayrı – ayrı yük düyünlərinin dayanıqlığını artırmaqla gərginlik selvari azalmasını aradan qaldırır. Nəticədə məsul yüklərin əsas kütləsinin normal işi rejimi təmin olunur. Sənaye müəssisələrinin TYA sisteminə qoşulduqda qidalanmasında fasilələr zamanı texnoloji proseslərin fasiləsiz elektrik enerjisi ilə təmin olunması zəruriyyətini nəzərə alınması vacibdir.

Elektrik sisteminin *birləşmə sxemləri*, onun ilkin rejiminin seçilməsi dayanıqlığı əhəmiyyətli dərəcədə artırır. Sistemin sxeminin qiymətləndirilməsi

zamanı istifadə olunan kriteriyalardan biri sxemin “sərtliyi” anlayışıdır. Sxemin hər hansı bir düyün nöqtəsinin sərtliyi yükün dəyişməsilə xarakterizə olunur. Həmin bu yükdə vahid qəbul edilmiş hər hansı qiymətə görə gərginliyin fazası və kəmiyyəti ölçüləcək. Sərtlik sistemin düyün nöqtələrini əlaqələndirən nisbi müqavimətlərdən asılıdır. Düyün nöqtələrinin gərginliyinin faza və kəmiyyətcə qiyməti nə qədər az dəyişirsə, nə qədər bu düyün nöqtələri bir – biri ilə əlaqələnmişdirsə, sistemin sərtlili bir o qədər çoxdur. Sxemin sərtliyinin artırılması statik dayanıqlığı, həmçinin sistemin qəzadan sonrakı rejimini yaxşılaşdırır. Lakin sərtlik əmsalı yüksək olan sxemlərdə QQ cərəyanının səviyyəsi yüksək olur və rele mühafizəsinin işində problemlər yaranır.

Elektrik sisteminin qeyri – sinxron işləyən hissələrə *bölünməsi* onun dinamik dayanıqlığının pozulmasını aradan qaldıra bilər. Hər bir elektrik sistemində əvvəlcədən elə bir nöqtə və ya en kəsik müəyyən edirlər ki, həmin yerdə bölünmənin aparılması hər hansı bir fəsadsiz yerinə yetirilə bilər. Sistemin bölünməsi onu zəiflədir, ona görə də bunu yalnız onda tövsiyyə edilə bilər ki, bu dinamik dayanıqlığın saxlamasının yeganə üsulu olsun.

YOXLAMA SUALLARI

1. Elektrik sisteminin dayanıqlığının yaxşılaşdırılması üzrə əsas tələblər hansılardır?
2. Elektrik sisteminin əsas parametrlərinin yaxşılaşdırılmasına əsaslanan tədbirlərin mahiyyəti nədən ibarətdir?
3. Dayanıqlığın yaxşılaşdırılması üzrə əlavə tədbirlər hansılardır?
4. Dayanıqlığın yaxşılaşdırılması üzrə rejim tədbirlərini deyin.

ƏDƏBİYYAT

1. Вагнер К.Ф., Эванс Р.Д. Метод симметричных составляющих. – М.; Л.: Энергоиздат, 1993. – 182с.

2. Ульянов С.А. Электромагнитные переходные процессы в электрических системах. – М.: Энергия, 1970. – 520с.

3. Неклепаев Б.Н. координация и оптимизация уровней токов короткого замыкания в электрических системах. – М.: Энергия, 1978. – 152с.

4. Методические указания по определению устойчивости энергосистем. Ч.1. – М.: СПО Союзтехэнерго, 1979. – 184с.

5. Ульянов С.А. Сборник задач по электромагнитным переходным процессам в электрических системах. – М.: Энергия, 1969. – 456с.

6. Винославский В.Н. и др. Переходные процессы в системах электроснабжения. – Киев: Высшая шк., 1989. – 422с.

7. Сыромятников И.А. Режимы работы асинхронных и синхронных двигателей / Под ред. Л.Г. Мамикоянца. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 216с.

8. Карамышев Е.В., Куликов Ю.А., Чебан В.М., Щойко В.П. Автоматизация процессов ускоренного восстановления схем электрической системы // Проблемы повышения надежности и экономичности электроэнергетических систем: Межвуз. сб. науч. тр. / Под ред. В. М. Чебана. – Новосибирск: Изд – во НЭТИ, 1990. – С. 70 – 76.

9. Заславская Т.Б., Куликов Ю.А. Энергетические соотношения, характеризующие переходный процесс в длинной линии // Тр. СибНИИЭ. – М.: Энергия, 1975. – Вып. 26. – С. 95 – 104.

10. Ульянов С.А. Электромагнитные переходные процессы в электрических системах. – М.: Энергия, 1964. – 640с.

11. Нейман Л.Р., Демирчян К.С. Теоретические основы электротехники. Ч.1. – М.: Энергия, 1967. – 522с.

12. Расчеты токов короткого замыкания для релейной защиты и системной автоматики в сетях 110 – 750 кВ: Руководящие указания по релейной защите. – М.: Энергия, 1979. – Вып. 11. – 152с.

13. Жданов П.С., Лебедев С.А. Устойчивость параллельной работы электрических систем. – М.; Л.: Госэнергоиздат, 1934. – 397с.

14. Аленицин А.Г. и др. Краткий физико – математический справочник. – М.: Наука, 1990. – 368с.

15. Жданов П.С. Вопросы устойчивости электрических систем / Под ред. Л.А. Жукова. – М.: Энергия, 1979. – 456с.

16. Электрические системы / Под ред. В.А. Веникова. М.: Высшая шк., 1971. – 451с.

17. Веников В.А. Переходные электромеханические процессы в электрических системах. – М.: Высшая шк., 1970. – 472с.
18. Электротехнический справочник. Т. 3. Кн.1: Производство, передача и распределение электрической энергии / Под общ. ред. В.Г. Герасимова, П.Г. Грудинского, Л.А. Жукова и др. – Изд. 6 – е. – М.: Энергоиздат, 1982. – 656с.
19. Справочник по проектированию электроснабжения / Под ред. Ю.Г. Барыбина и др. – М.: ЭАИ, 1990. – 576с.
20. Справочник по электрическим установкам высокого напряжения / Под ред. И.А. Баумштейна, С.А. Бажанова. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 768с.
21. Правила устройства электроустановок / Минэнерго СССР. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 648с.
22. Инструкция по проектированию электросилового и осветительного оборудования: СН357 – 77. М.: Стройиздат, 1970.
23. Обердорфер Г. Расчеты по методу симметричных составляющих. – М.: Гос. науч. – техн. изд – во, 1931. – 111с.
24. Bergen A.A. Power System Analysis. – New Jersey: PRENTICE – HALL, Enlewood Cliffs, 1986. – 529p.
25. Kimbark E.W. Power System Stability. Vol. 1: Elements Stability Calculations. – N.Y.: John Wiley & Sons In.,1957.
26. Каганов З.Г. Электрические цепи с распределенными параметрами и цепные схемы. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 248с.
27. Лосев С.Б., Чернин А.Б. Вычисление электрических величин в несимметричных режимах электрических систем. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 528с.
28. Серебрянников М.Г., Первозванский А.А. Выявление скрытых периодичностей. – М., 1965.
29. Заславская Т.Б., Куликов Ю.А., Пушкарева Л.И. Алгоритм и программа выделения составляющих токов и напряжений при коротких замыканиях в длинных линиях // Изв. СО АН СССР. Сер. техн. наук. – 1974. – Вып. 2, № 8. – С. 130 – 136.
30. Куликов Ю.А. Свободные составляющие токов и напряжений при коротком замыкании в настроенных ЛЭП и их влияние на действие релейной защиты: дис. … канд. техн. наук. – Новосибирск, 1974.
31. Куликов Ю.А. Влияние короны на параметры свободных составляющих переходного процесса в дальних электропередачах // Управление режимами и развитием энергетических систем в условиях АСУ: Межвуз. сб. науч. тр. / Отв. ред. В.К. Щербаков. – Новосибирск: Изд – во НЭТИ, 1977. – С. 156 – 159.
32. Куликов Ю.А., Жанаев Д.Т. Влияние разрядников на работу релейной защиты дальних электропередач // Режимы и устойчивость электрических систем: Сб. науч. трудов / Под ред. В.М. Чебана. – Новосибирск: Изд – во НЭТИ, 1974. – С. 190 – 197.
33. Куликов Ю.А., Заславская Т.Б., Пушкарева Л.И. Способ защиты настроенной линии электропередачи. – Авт. свид. № 738038. Опубликовано 30.05.1980, БИ № 20.
34. Якупов В.С. Электропроводность и геоэлектрический разрез мерзлых толщ // Тр. Сев. – вост. комплесного НИИ. Вып. 20. – М.: Наука, 1968.

Maqnit sahəsinin bəzi qanunları və anlayışları

Maqnit sahəsi – elektromaqnit sahəsinin mürəkkəbələrindən biri olmaqla yüklü zərrəciklərin hərəkəti (elektrik cərəyanı) ilə və ya sabit maqnit sahəsi ilə şərtlənir. Maqnit sahəsi burulğanlıdır, yəni onun induksiya xətləri həmişə qapalıdır. Sahənin mənbəyi – maqnit yükləri (yüklü zərrəcikləri) mövcud deyildir. Maqnit sahəsini xarakterizə edən əsas fiziki kəmiyyət **B** – maqnit induksiyasıdır. Bu maqnit sahəsinin cərəyana güc təsirini təyin edən vektor kəmiyyətidir.

Bio – Savar – Laplas qanununa müvafiq olaraq cərəyan axan naqilin Δ*l* elementi vakuumda hər hansı nöqtədə maqnit sahəsini yaradır. Onun induksiyası aşağıdakı formula ilə hesablanır

$$\Delta B = \frac{\mu_0}{4\pi}\frac{I\Delta\ell\sin\theta}{r^2} \qquad (Ə1.1)$$

burada μ_0 – maqnit sabitidir [14];

r – müşayət olunan nöqtədən cərəyan axan elementə qədər olan məsafədir;

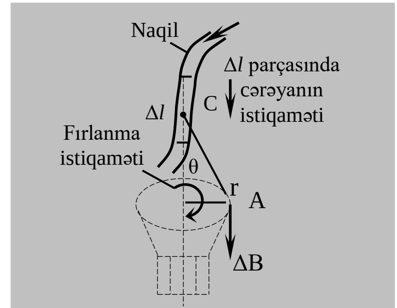
θ – Δ***l*** elementində cərəyanın istiqaməti ilə cərəyan axan elementini müşayət olunma nöqtəsi ilə birləşdirən düz xətt arasındakı bucaqdır.

Δ**B** vektoru *AOC* müstəvisinə perpendikulyardır. Δ**B** –nin istiqaməti s a ğ b u r ğ u q a y d a s ı ilə təyin olunur (şəkil Ə1.1). Δ**B** üçün ifadəni Δ***l*** və Δ**r** vektorları hasilinin köməyi ilə aşağıdakı kimi yazmaq olar:

$$\Delta B = \frac{\mu_0}{4\pi}\frac{I}{r^3}\left(\Delta\ell \times \Delta r\right), \qquad (Ə1.2)$$

burada μ_0 – maqnit sabitidir ($\mu_0 = 12.57 \cdot 10^{-7}$hn/m).

Əgər induksiya maqnit nüfuzluğu μ olan mühitdə təyin edilirsə onda (Ə1.1) və (Ə1.2) ifadələri μ –yə vurulur.Cərəyan axan sarğı, düzxətli cərəyan axan naqil və solenoid üçün maqnit induksiyası vektor–larının istiqaməti şəkil Ə1.2 –də göstərilib. Əgər cərəyan axan naqili (keçiricini) maqnit sahəsində yerləşdirsək, onda ona A m p e r Q a n u n u ilə təyin olunan qüvvə təsir edəcəkdir:

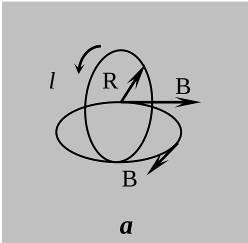


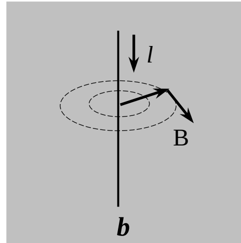
Şəkil Ə1.1. Sağ burğu qaydası

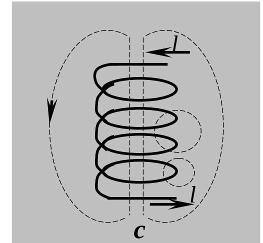
$$\Delta F = I(\Delta\ell\, B).$$

Bu qüvvənin modulu – $\Delta F = I\Delta\ell B \sin\theta$,

burada θ –induksiya **B** –nin istiqaməti ilə cərəyan axan naqilin elementi Δ***l*** istiqaməti arasındakı bucaqdır. Qüvvənin istiqaməti məlum sol əl qaydası ilə təyin olunur.







Şəkil Ə1.2. Cərəyan axan sarğının (*a*), düz naqilin (*b*) və solenoidin (*c*) sahəsinin qüvvə xətləri

Bircinsli maqnit sahəsində müstəvi konturla məhdudlaşan S səthindən keçən Φ maqnit seli vektorların hasili ilə təyin olunur

$$\Phi = (B\, S) = BS\cos\theta,$$

burada θ – induksiya **B** – nin istiqaməti ilə S sahəsinin səthinə olan normal arasındakı bucaqdır.

Zaman görə dəyişən maqnit sahəsi burunğanlı elektrik sahəsini yaradır. Bu hadisə e l e k t r o m a q n i t i n d u k s i y a s ı adlanır.

F a r a d e y q a n u n u : istənilən qapalı konturda maqnit selinin dəyişməsi zamanı bu konturla məhdudlaşan səthdən keçən maqnit selinin dəyişmə sürətinə mütənasib EHQ yaranır:

$$E = -\frac{d\Phi}{dt}. \qquad (\text{Ə}1.3)$$

Baxılan konturda EHQ induksiyası induksiya cərəyanının yaranmasına səbəb olur. Minus işarəsi Lens qaydasına uyğundur: induksiya istiqaməti elədir ki, onun yaratdığı maqnit selinin dəyişməsinə mane olur.

Dəyişməz maqnit sahəsində cərəyan axan naqilin hərəkəti zamanı yaranan EHQ başqa fiziki təbiətə malikdir. Burulğanlı elektrik sahəsi bu halda olmur və

naqilə maqnit sahəsi ilə əlaqədar olan Lorens qüvvəsi təsir edir. İnduksiyalanmış EHQ –nin qiyməti (Ə1.3) formulası ilə hesablanır. Bu halda induksiya cərəyanının istiqaməti Lens qaydasına müvafiq olaraq sağ əl qaydası ilə təyin olunur: yəni əgər sağ əlimizi elə yerləşdirsək ki, maqnit sahəsinin qüvvə xətləri ovucun içərisinə perpendikulyar olsun, bu halda baş barmaq naqilin hərəkət istiqamətini göstərərsə yerdə qalan dörd barmaq induksiyalanmış cərəyanın istiqamətini göstərər.

Əgər cərəyan axan kontur qismində sarğaca (elektrik maşınının dolağı) baxılırsa, onda işləmə seli ψ anlayışı daxil edilir. İlişmə seli Φ seli ilə sadə $\psi = w\Phi$ mütənasibliklə əlaqələnir, burada w – dolaqdakı sarğıların sayıdır. Bu halda sarğacda induksiyalanan EHQ aşağıdakı formula ilə hesablanır

$$E = -\frac{d\Psi}{dt} = -w\frac{d\Phi}{dt}.$$

Elektrik cərəyanı axan bir kontur üçün maqnit seli bu konturla ilişən, ondan axan i cərəyanı ilə təyin olunur. Belə sel ö z – ö z ü n ə i n d u k s i y a s e l i adlanır. Hər hansı bir elektrik konturunun öz – özünə induksiyanın ilişmə seli

$$\Psi_L = Li,$$

burada L əmsalı konturun məxsusi induktivliyi adlanır.

Öz – özünə induksiya selinin dəyişməsi zamanı konturda öz – özünə induksiyanın elektrik hərəkət qüvvəsi yaranır. L = const olduqda alarıq:

$$E = -\frac{d\Psi_i}{dt} = -d\,\frac{d(Li)}{dt} = -L\frac{di}{dt}.$$

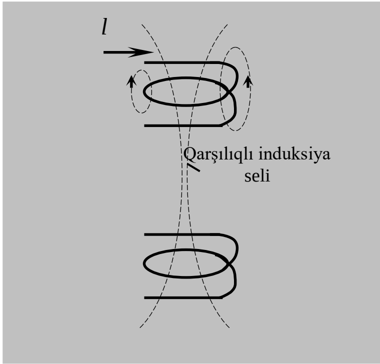
İki və ya bir neçə cərəyan axan konturlar üçün bu konturlardan biri ilə ilişən maqnit seli bütün konturlardakı cərəyanla təyin olunur.

İki kontura baxaq və fərz edək ki, cərəyan yalnız bunlardan birindən axır (şəkil Ə1.3). Birinci konturun konturun öz – özünə induksiyası selinin maqnit induksiyasının bir hissə xətləri həmçinin ikinci konturla ilişir. İkinci konturla ilişən sel q a r ş ı l ı q l ı i l i ş m ə s e l i adlanır. Qarşılıqlı induksiyanın ilişmə seli

$$\Psi_{21} = \Psi_{2M} = M_{21}i_1 .$$

M_{21} əmsalı konturların qarşılıqlı induksiyası adlanır. Birinci indeks ikunci

indekslə işarələnmiş cərəyan axan konturun hansı konturla yaranan ilişmə selinə baxılmasını göstərir.



Şəkil Ə1.3. Öz – özünə və qaşılıqlı indusiya seli

Qarşılıqlı induksiyanın dəyişməsi zamanı qarşılıqlı induksiya seli ikinci konturla ilişmə nəticəsində bu konturda qarşılıqlı induksiya EHQ – si yaranır. M_{21} = const olduqda alarıq

$$E_{21} = -\frac{d\Psi_{2M}}{dt} = -d\,\frac{d\left(M_{21}i_1\right)}{dt} = -M_{21}\frac{di_1}{dt}.$$

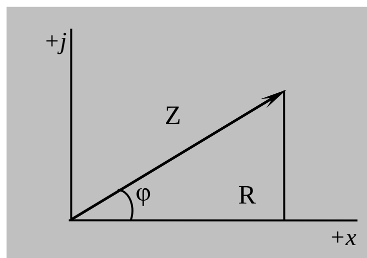
Lens qaydasına əsasən elektromaqnit inersiya prinsipini aşağıdakı kimi ifadə etmək olar: *elektrik cərəyan axan konturlar (dolaqlar) sistemində ayrı – ayrı konturlarla ilişmiş olan maqnit sellərinin dəyişməzliyinin saxlanılması tentensiyası mövcuddur.* Konturlarda sellərin dəyişdirilməsinə cəhd etdikdə buna mane olmağa cəhd göstərən EHQ yaranır.

Ə l a v ə 2

Kompleks kəmiyyətlərin təqdim edilmə formaları

Z = *R* + *jx* kompleks ədədi kompleks müstəvidə (*R*, *x*) koordinatlı nöqtə ilə təsvir olunur (şəkilə bax). ***Z*** = *R* + *jx* c ə b r i f o r m a s ı onunla əlverişlidir ki, kompleks ədədlərlə bütün əməliyyatlar ikihədli kimi yerinə yetirilir. Kompleks ədədin kompleks müstəvidə vektorla eyniləşdirildiyi zaman onun t r i q o n a – m e t r i k f o r m a d a ifadə olunması mümkündür.

$$Z = Z(\cos\varphi + j\sin\varphi).$$



Kompleks ədədin ü s t l ü f o r m a d a verilişini almaq üçün e^{φ} –ni sonsuz sıraya ayıraq:

$$e^{\varphi} = 1 + \varphi + \frac{\varphi^2}{2!} + \frac{\varphi^3}{3!} + \frac{\varphi^4}{4!} + \frac{\varphi^5}{5!} + \ldots$$

Anoloji olaraq

$$e^{j\varphi} = 1 + j\varphi - \frac{\varphi^2}{2!} - j\frac{\varphi^3}{3!} + \frac{\varphi^4}{4!} + j\frac{\varphi^5}{5!} - \frac{\varphi^6}{6!}\ldots$$

Həqiqi və xəyalı hissələri ayıraraq, alarıq

$$e^{j\varphi} = \left(1 - \frac{\varphi^2}{2!} + \frac{\varphi^4}{4!} - \frac{\varphi^6}{6!} + \ldots\right) + \ldots j\left(\varphi - \frac{\varphi^3}{3!} + \frac{\varphi^5}{4!} - \frac{\varphi^7}{7!} + \ldots\right).$$

Mötərizədə olan sıralar müvafiq olaraq cos φ və sin φ – yə bərabərdir. Odur ki,

$$e^{j\varphi} = \cos\varphi + j\sin\varphi, \qquad (Ə2.1)$$

$$e^{-j\varphi} = \cos\varphi - j\sin\varphi \qquad (Ə2.2)$$

$\boldsymbol{Z} = Re^{j\varphi}$ kompleks ədədi üstlü formada verilmiş olur. O, kompleks ədədin vurulması və bölünməsi zamanı əlverişlidir. (Ə2.1) və (Ə2.2) bərabərliklərini birlikdə həll edərək Eyler formulasını alarıq

$$\cos\varphi = \frac{e^{j\varphi} + e^{-j\varphi}}{2}, \quad \sin\varphi = \frac{e^{j\varphi} - e^{-j\varphi}}{2} \qquad \text{(Ə2.3)}$$

Ə l a v ə 3

Dəyişən kəmiyyətlərin vektor təsviri

Sadə harmonik funksiyanın ani qiyməti, məsələn EHQ, aşağıdakı kimidir

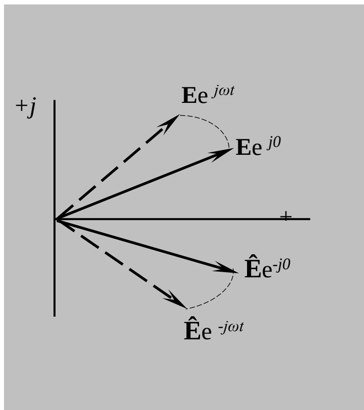
$$e = \sqrt{2}E\cos(\omega t + \alpha), \qquad (Ə3.1)$$

burada E – harmonik funksiyanın təsiredici qiymətidir; ω = 2π*f* ; α – harmonik funksiyanın başlanğıc fazasıdır.

(Ə2.3) – ü (Ə3.1) –də yerinə yazsaq və φ – ni (ωt + α) ilə əvəz etsək alarıq

$$e = \frac{\sqrt{2}}{2}E\left[e^{j(\omega t+\alpha)} + e^{-j(\omega t+\alpha)}\right] = \frac{\sqrt{2}}{2}E\left[e^{j\omega t}e^{j\alpha} + e^{-j\omega t}e^{-j\alpha}\right] = \frac{\sqrt{2}}{2}\left(Ee^{j\omega t} + \hat{E}e^{-j\omega t}\right). \qquad (Ə3.2)$$

Burada $Ee^{j\alpha} = E; \quad Ee^{-j\alpha} = \hat{E}$



(Ə3.2) –dən görünür ki, harmonik funksiyanın ani qiyməti zamanın istənilən anı üçün birbirinə bağlı olan və yekunda xəyali mürəkkəbə olmayan, qarşı – qarşıya fırlanan vektorların cəmi şəkilində təqdim oluna bilər (şəkilə bax). Bütöv xətlər t =0 üçün EHQ vektorlarının vəziyyətini göstərir, qırıq xətlər isə – bir müddət keçdikdən sonra onların vəziyyə–tidir. EHQ vektorları müsbət oxa nəzərən elə simmetrik yerləşmişdir ki, onların cəmi həqiqi kəmiyyətlərdir və tərkibində xəyali mürəkkəbələr yoxdur. Bu nisbətləri cərəyanın ani qiyməti üçün də almaq olar.

Gücün vektorla təsviri

Gücün ani qiyməti cərəyan və gərginliyin ani qiymətlərinin hasili kimi təyin olunur. Göstərmək olar ki, gərginlik və cərəyanın (U, *i*) sinusoidal dəyişməsi zamanı gücün ani qiyməti üçün olan ifadə sabit və dəyişən mürəkkəbələrdən ibarət olmaqla ikiqat tezliklə dəyişən sinusoidaya malikdir [11, səh.174]. Hesabatların çox hissəsi üçün isə orta gücün qiyməti lazımdır. Orta güc üçün ifadə gərginliyin və cərəyanın ani qiymətlərinin hasili ilə alınır:

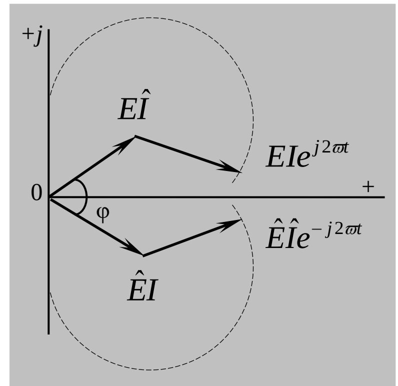
$$S = ei = \frac{\sqrt{2}}{2}\left(Ee^{j\omega t} + \hat{E}e^{-j\omega t}\right)\left(Ie^{j\omega t} + \hat{I}e^{-j\omega t}\right) = \\ = \frac{\left(E\hat{I} + EI^{j2\omega t}\right)}{2} + \frac{\left(E\hat{I} + \hat{E}\hat{I}^{-j2\omega t}\right)}{2}. \quad (Ə4.1)$$

Bu ifadənin hər iki hissəsi bir – birinə birləşmişlər. **EÎ** və **ÊI** – bir – birinə birləşmiş vektorlar bərabərdirlər, müxtəlif kvadratlarda yerləşməklə zamandan asılı deyildirlər. İkiqat tezliklə fırlanan $\hat{E}\hat{I}e^{-j2\omega t}$ və $EIe^{j2\omega t}$ vektorları da bir – biri ilə birləşmişlər və mütləq qiymətləri $E\hat{I}$ və $\hat{E}I$ – nin qiymətləri kimidir (şəkilə bax). İkiqat tezlikli mürəkkəbələrin orta qiyməti sıfıra bərabərdir, ona görə də

$$P = \frac{1}{2}\left(E\hat{I} + \hat{E}I\right) = EI\cos\varphi \quad (П4.2)$$

Burada φ bucağı $E = Ee^{j\alpha}$, $I = Ie^{j\beta}$, $\varphi = \alpha - \beta$ olduğu nəzərdə tutularaq təyin olunur. (Ə4.2) –dən görünür ki,

$$P = E\hat{I} = \hat{E}I, \quad (П4.3)$$



Bununla belə həm birinci, həm də ikinci hasildən istifadə etmək olar. Reaktiv güc üçün oxşar nisbətlərin çıxarılması mürək–kəbdir. Lakin onun $Q = EI \sin\varphi$ ifadəsinə əsasən göstərmək olar ki, (Ə4.3) –ün xəyali hissəsi reaktiv gücə bərabərdir. Bunun üçün reaktiv gücün müsbət istiqamətin şərti qəbul olunmalıdır. Qəbul edək ki,

reaktiv gücün istiqaməti müsbətdir, yəni cərəyan gərginlikdən geri qalır. Onda $\varphi = (\alpha - \beta) > 0$. Reaktiv mürəkkəbə *EI* hasili, bərabərdir

$$\begin{aligned} Q_1 &= \mathrm{Im}\left(E\hat{I}\right) = EI\sin\left(\alpha - \beta\right), \\ Q_2 &= \mathrm{Im}\left(\hat{E}I\right) = EI\sin\left(\alpha - \beta\right). \end{aligned} \qquad (Ə4.4)$$

(Ə4.4) –də Q_1 –in işarəsi bizim reaktiv güc üçün qəbul etdiyimiz istiqamətə uyğundur. Ona görə də aktiv və reaktiv gücləri aşağıdakı bərabərliklə əlaqələndirmək olar

$$S = P + jQ = EI.$$

Əgər Q –nün istiqamətini müsbət cərəyanın qabaqlayıcı olmasına müvafiq olan istiqamət qəbul etsək, onda aşağıdakı ifadəni alarıq

$$S = \hat{E}I \quad .$$

Əvəz sxemlərində aparılan çevirilmələrin əsas formulları

№ a/b	Çevirmənin növü	Çevirmədən əvvəlki sxem	Çevirmədən sonrakı sxem	İşarələr	Çevirmədən sonrakı sxemin elementlərinin müqaviməti
1	Bir neçə mənbənin ekvivalent mənbə ilə dəyişdirilməsi	E_1, Z_1, I_1; E_2, Z_2, I_2; E_n, Z_n, I_n	E_{ekv}, Z_{ekv}, I, U_F	‖	$E_{ekv} = \frac{1}{Y_{ekv}} \sum_{\kappa=1}^{n} Y_k E_k$, где $Y_{ekv} = Y_1 + Y_2 + ... + Y_n$; $Y_1 = \frac{1}{Z_1}; Y_2 = \frac{1}{Z_2};...; Y_n = \frac{1}{Z_n}$ İki qolu (budağı) olduqda $E_{ekv} = \frac{E_1 Z_2 + E_2 Z_1}{Z_1 + Z_2}$
2	Üçbucaqdan ulduza çevirmə	F, G, H; I_{HF}, I_{FG}, I_{GH}; Z_{HF}, Z_{FG}, Z_{GH}	F, G, H; Z_F, Z_G, Z_H; I_F, I_G, I_H	Δ/Y	$Z_F = \frac{Z_{FG} Z_{HF}}{Z_{FG} + Z_{GH} + Z_{HF}}$, $Z_G = \frac{Z_{FG} Z_{GH}}{Z_{FG} + Z_{GH} + Z_{HF}}$, $Z_H = \frac{Z_{GH} Z_{HF}}{Z_{FG} + Z_{GH} + Z_{HF}}$

Əvəz sxemlərində aparılan çevirilmələrin əsas formulları

№ a/b	Çevirmənin növü	Çevirmədən əvvəlki sxem	Çevirmədən sonrakı sxem	İşarələr	Çevirmədən sonrakı sxemin elementlərinin müqaviməti
3	Üç şüalı ulduzdan üçbucağa çevirmə			Y/Δ	$Z_{FG}=Z_F+Z_G+\frac{Z_F Z_G}{Z_H}$, $Z_{GH}=Z_G+Z_H+\frac{Z_G Z_H}{Z_F}$, $Z_{HF}=Z_H+Z_F+\frac{Z_H Z_F}{Z_G}$,
4	İki EHQ –li üçbucaqdan iki EHQ –lı ulduza çevirmə			Δ/Y	$E_G=\frac{E_{FH}Z_{FG}+E_{FG}(Z_{HF}+Z_{GH})}{Z_{FG}+Z_{GH}+Z_{HF}}$ $E_H=\frac{E_{FH}(Z_{FG}+Z_{GH})+E_{FG}Z_{HF}}{Z_{FG}+Z_{GH}+Z_{HF}}$ Müqavimətlər eyni ilə 2-ci bənddəki kimidir

Ə l a v ə 6

Gərginliyi 1000 V kimi olan qurğilarda QQ hesabatlarını aparmaq üçün məlumat verilənləri

C ə d v ə l Ə.6.1

Gərginliyi 1 kV – dən aşağı olan sarğaclı transformatorlarda birinci dolağın müqavimətlərinin təqribi qiymətləri

Cərəyan transformatorunun transformasiya əmsalı	Müqavimətin qiyməti, мОМ, Dəqiqlik sinifi olan cəryan transformatorları üçün			
	X	R	x	R
	1		2	
20/5	67	42	17	19
30/5	30	20	8	8,2
40/5	17	11	4,2	4,8
50/5	11	7	2,8	3
75/5	4,8	3	1,2	13
100/5	1.7	2.7	0.7	0.75
150/5	1.2	0.75	0.3	0.33
200/5	0.67	0.42	0.17	0.19
300/5	0.3	0.2	0.08	0.09
400/5	0.17	0.11	0.04	0.05
500/5	0.07	0.05	0.02	0.02

C ə d v ə l Ə.6.2

İkinci dolağının gərginliyi 0,4 kV olan alçaldıcı transformatorların müqavimətləri

Nominal güc, кVA	Dolaqlarının birləşmə sxemi	$U_{k\%}$	Müqavimətin qiyməti, , мОм							
			Düz ardıcıllıqlının			Sıfır ardıcıllıqlının		Birfazlı QQ-nin cəryanına		
			r_{1T}	x_{1T}	z_{1T}	r_{1T}	x_{1T}	$r_{1T}^{(1)}$	$x_{1T}^{(1)}$	$z_{1T}^{(1)}$
25	У/Ун	4.5	154	244	287	1650	1930	1958	2418	3110
25	У/Zн	4.7	177	243	302	73	35.4	-	-	-
40	У/Ун	4.5	88	157	180	952	1269	1128	1583	1944
40	У/Zн	4.7	100	159	188	44	13.4	-	-	-
63	У/Ун	4.5	52	102	114	504	873	608	1077	1237
63	У/Zн	4.7	59	105	119	28	12	-	-	-
100	У/Ун	4.5	31.5	65	72	254	582	317	712	779
100	У/Zн	4.7	36.3	65.7	-75	15.6	10.6	-	-	-
160	У/Ун	4.5	16.6	41.7	45	151	367	184	450	486
160	Δ/Ун	4.5	16.6	41.7	45	16.6	41.7	49.8	125	135
250	У/Ун	4.5	9.4	27.2	28.7	96.5	235	115	289	311
250	Δ/Ун	4.5	9.4	27.2	28.7	9.4	27.2	28.5	81.6	86.3
400	У/Ун	4.5	5.5	17.1	18	55.6	149	66.6	183	195
400	Δ/Ун	4.5	5.9	17	18	5.9	17	17.7	51	54
630	У/Ун	5.5	3.1	13.6	14	30.2	95.8	36.4	123	128

C ə d v ə l Ə.6.2 –nin davamı

Nominal güc, кVA	Dolaqlarının birləşmə sxemi	$U_{k\%}$	Müqavimətin qiyməti, , мОм							
			Düz ardıcıllıqlının			Sıfır ardıcıllıqlının		Birfazlı QQ-nin cəryanına		
			r_{1T}				r_{1T}			
630	$\Delta/У_н$	5.5	3.4	13.5	14	3.4	13.5	10.2	40.5	42
1000	$У/У_н$	5.5	1.7	8.6	8.8	19.6	60.6	2.3	77.8	81
1000	$\Delta/У_н$	5.5	1.9	8.6	8.8	1.9	8.6	5.7	25.8	26.4
1600	$У/У_н$	5.5	1	5.4	5.5	16.3	50	18.3	60.8	63.5
1600	$\Delta/У_н$	5.5	1.1	5.4	5.5	1.1	5.4	3.3	16.2	16.5
2500	$\Delta/У_н$	5.5	0.64	3.46	3.52	0.64	3.46	1.92	10.38	10.56

C ə d v ə l Ə.6.3

Keçiricişin dəstinin (komplektinin) müqavimətlərinin qiymətləri, мОм

Parametrləri	ŞMA68P		ŞMA73		ŞMA4		
Nominal cəryan, A	2500	4000	1600	1250	1600	2500	3200
Faz meqaviməti Rş	0.02	0.013	0.031	0.034	0.03	0.017	0.015
Faz müqaviməti $x_ş$	0.02	0.015	0.002	0.016	0.014	0.008	0.07
Nominal cəryan, A	1600	250	400	630	250	400	630
Faz müqaviməti Rş	0.014	0.21	0.15	0.1	0.21	0.15	0.1
Faz müqaviməti $x_ş$	0.006	0.221	0.17	0.13	0.21	0.17	0.13

C ə d v ə l Ə.6.4

Gərginliyi 1 kV-yə kimi olan kabellərin müqavimətləri

	Damarının 20 ^{0}C temperaturunda aktiv müqaviməti, мОм/м		İnduktiv müqavimət, мОм/м	
Damarın en kəsiyi, мм^2	Alminum	Mis	kağız kəmər izoliyasıyalı kabel	turbada üç məftil, rezin və ya polixlorvinil izolyasiyası ilə
1	-	18.5	-	0.133
1.5	-	12.3	-	0.126
2.5	12.5	7.4	0.104	0.116
4	7.81	1.63	0.095	0.107
6	5.21	3.09	0.09	0.1
10	3.12	1.84	0.073	0.099
16	1.95	1.16	0.0675	0.095
25	1.25	0.74	0.0662	0.091
35	0.894	0.53	0.0637	0.088
50	0.625	0.37	0.0625	0.085
70	0.447	0.265	0.612	0.082
95	0.329	0.195	0.0602	0.081
120	0.261	0.154	0.0602	0.08

C ə d v ə l Ə.6.4 –ün davamı

150	0.208	0.124	0.0596	0.079
185	0.169	0.1	0.0596	0.078
240	0.13	0.077	0.0587	0.077

C ə d v ə l Ə.6.5

Avtomatik açarların müqaviməti

$I_{nom,A}$	R_a, мOM	x_a, мOM	$I_{nom,A}$	R_a, мOM	x_a, мOM
50	7	4.5	600	0.41	0.13
70	3.5	2	1000	0.25	0.1
100	2.15	1.2	1600	0.14	0.08
140	1.3	0.7	2500	0.13	0.07
200	1.1	0.5	4000	0.1	0.05
400	0.65	0.17	-	-	-

C ə d v ə l Ə.6.6

Gərginliyi 1 kV-yə kimi olan komutasiya aparatların sökülən kontaktlarının aktiv müqavimətlərinin təqribi qiymətləri

Aparatı nominal cəryanı, A	Aktiv müqavimət, мOM	
	Qırıcı	Ayırıcı
50	-	-
70	-	-
100	0.5	-
150	-	-
200	0.4	-
400	0.2	0.2
600	0.15	0.15
1000	0.08	0.08
2000	-	0.03
3000	-	0.02

C ə d v ə l Ə.6.7

TКF tipli cəryan trnsformatorlarının birinci dolaqlarının elektriki müqaviməti, мкOM

I_{nom}, A	TКF-1		TКF-3	
	r	X	r	X
7.5	$300{\cdot}10^3$	$480{\cdot}10^3$	$130{\cdot}10^3$	$120{\cdot}10^3$
10	$170{\cdot}10^3$	$270{\cdot}10^3$	$75{\cdot}10^3$	$70{\cdot}10^3$
15	$75{\cdot}10^3$	$120{\cdot}10^3$	$33{\cdot}10^3$	$30{\cdot}10^3$
20	$42{\cdot}10^3$	$67{\cdot}10^3$	$19{\cdot}10^3$	$17{\cdot}10^3$
30	$20{\cdot}10^3$	$30{\cdot}10^3$	8200	8000

C ə d v ə l Ə.6.7 –nin davamı

40	$11·10^3$	$17·10^3$	4800	4200
50	7000	$11·10^3$	3000	2800
75	3000	4800	1300	1200
100	1700	2700	750	700
150	750	1200	330	300
200	420	670	190	170
300	200	300	80	80
400	110	170	50	40
500	50	70	20	20

QISALDILMIŞ SÖZLƏRİN SİYAHISI

ADİS	- avtomatlaşdırılmış dispetçer idarə sistemi
AİEQ	- açarların imtinasının ehtiyat qurğusu
ARAL	- asinxron rejimin ləğvi avtomatiksı
ATQ	- avtomatik təkrar qoşulma
BATQ	- birfazalı ATQ
BDİ	- birləşmiş dispetçer idarəsi
BES	- birləşmiş enerji sistemi
BQ	- balanslaşdırıcı düyün nöqtəsi (qovşaq)
CDTAT	- cəldtəsirli təsirlənmənin avtomatik tənzimləyicisi
DDP	- dinamik dayanıqlığın pozulması
DM	- dispetçer mərkəzi
DPDA	- dayanıqlığın pozulmasının dayandırılması avtomatikası
DPLA	- dayanıqlığın pozulmasının ləğvi avtomatikası
EES	- elektroenergetika sistemi
EHÇ	- elektrohidravlik çevirici
EHM	- elektron hesablama maşını
EHQ	- elektrik hərəkət qüvvəsi
EKF	- eninə kompensasiyanın forsirovkası
EÖX	- elektrik ötürmə xətləri
EŞM	- elektrik şəbəkələri müəssisəsi
EVX	- elektrik verilişi hava xətti
ƏQA	- əks-qəza avtomatikası
ƏQACV	- ƏQA siqnallarını cəldötürmə vasitələri
FTAT	- fırlanma tezlyinin avtomatik tənzimlənməsi (generatorların)
GA	- generatorun açılması
GAFİO	- generatorun açılmasını fiksəedən işəburaxma orqanı
GM	- gərginliyin məhdudlaşdırılması (buxar turbininin)
GQMA	- gərginliyin qalxmasının məhdudlaşdırıcı avtomaikası
GTAT	- mübadilə gücünün və tezliyin avtomatik tənzimlənməsi
GTQ	- generatorun tezliyin düşməsindən qoşulması

İEM - istilik elektrik mərkəzi
İES - istilik elektrik stansiyası
İNK - idarəedən hesablama kompleksi
İT - idarəçilik təsirləri
KATQ - kombinə edilmiş ATQ
KES - kondensasiyalı elektrik stansiyası
MDX - enerjisistemin mərkəzi dispetçer xidməti
MÖS - məlumat-ölçü sistemi
MHQ - maqnit hərəkət qüvvəsi
MYÖQ - məlumatın yığılma və ötürülmə qurğusu
MYÖS - məlumatın yığılma və ötürülmə sistemi
n.v. - nisbi vahid
OMİK - operativ-məlumat idarə kompleksi
ÖT - ötürücü
OTMÖŞ - operativ-texnoloji məlumatın ötürülmə şəbəkəsi
FEHM - fərdi elektron hesablama maşını
PQ - paylayıcı qurğu
PTAT - proporsional tipli TAT
QE - qəbuledici
QQ - qısa qapanma
RM - rele mühafizəsi
RMA - rele mühafizəsi və avtomatika
RT - rejim trenajorları
SDP - statik dayanıqlığın pozulması
SES - su elektrik stansiyası
SG-G - sinxron kompensator rejimindən generator rejiminə keçid
SGNÖO - stansiyanın cəmi gücünün ölçü orqanı
SK - sinxron kompensator
TA - transformatorun açılması
TAT - təsirlənmənin avtomatik tənzimlənməsi
TATQ - tezlik ATQ-si
TF - təsirlənmənin forsirovkası
TGTA - transformatorun gərginliyinin tənzimlənməsi avtomatikası
Tİ - teleidarə
TİB - buxar turbinindən qısa müddətli (impuls) yüçıxarması
TİM - turbinin idarə mexanizmi
TMQ - telemexanika qurğusu
TMŞ - teleməlumat şəbəkəsi
TÖ - teleölçü
TQMA - tezliyin qalxmasının məhdudlaşdırıcı avtomaikası
TS - telesiqnal

TT	- teletənzimləmə
TTY	- tez təsirli yükün qaldırılması
TUY	- buxar turbinindən uzun müddətli yükçıxarılması
TYA	- tezlikdən yükaçma avtomatikası
ÜATQ	- üçfazalı ATQ
YA	- yükün açılması
YAT	- yük altında tənzimlənmə (transformatorların)
YAXA	- yük açılmasının xüsusi avtomatikası
YÖO	- yükün ölçü orqanı
YS	- yarımstansiya
YSİO	- yarımstansiyaların açılmasını fiksəedən işəburaxma orqanı
XA	- xəttin açılması
XAİO	- xəttin açılmasını fiksəedən işə buraxma orqanı
XGNO	- xətlərin gücünün nəzarət ölçü orqanları

MÜNDƏRİCAT

Dərslik

Yusifbəyli Nurəli Adil oğlu

ELEKTRİK SİSTEMLƏRİNDƏ KEÇİD PROSESLƏRİ

Redaktor: As.M. Hüseynov
Texniki redaktor: F. L. Xıdırov
Rəssam: Dinbazova E. K.
Bilgisayar işləmələri: E. K. Dinbazova
Lisenziya:

Nəşrə imzalanmışdır...... 28.06.2008
Format 60×90/16. Ofset kağızı, Ofset nəşri.